

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

پردیس خوارزمی

گروه مهندسی معدن

پایان نامه کارشناسی ارشد

بهینه‌سازی سیستم حمل و نقل و جانمایی تجهیزات پیش‌فرآوری در معادن پلاستی سنگ آهن

سنگان (مطالعه موردی: معدن امیرسنگان پارسیمان)

محسن دلربای

اساتید راهنما:

پروفسور محمد عطائی

پروفسور رضا خالوکاکائی

استاد مشاور:

مهندس مرتضی شناور

زمستان ۱۳۹۴

شماره: ۱۸۴۳ / ۲  
تاریخ: ۹۴، ۱۲، ۴  
ویرایش: —

بسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره ۶: صورتجلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای محسن دلربای به شماره دانشجویی ۹۲۰۶۳۲۴ رشته مهندسی معدن گرایش استخراج تحت عنوان بهینه‌سازی سیستم حمل و نقل و جانمایی تجهیزات پیش فرآوری در معادن پلاستی سنگ آهن سنگان (مطالعه موردی: معدن امیرسنگان پارسین) که در تاریخ ۹۴/۱۱/۲۶ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

قبول (با درجه: بسیار خوب امتیاز ۱۸)  دفاع مجدد  مردود

- ۱- عالی (۲۰-۱۹)  
۲- بسیار خوب (۱۸-۱۷/۹۹)  
۳- خوب (۱۶-۱۷/۹۹)  
۴- قابل قبول (۱۴-۱۵/۹۹)  
۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	استاد	محمد عطائی	۱- استاد راهنمای اول
	استاد	رضا خالو کاکانی	۲- استاد راهنمای دوم
	-	مرتضی شناور	۳- استاد مشاور
	استادیار	علی عباس نژاد	۴- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی
	دانشیار	فرهنگ سرشکی	۵- استاد ممتحن اول
	دانشیار	محمد کارآموزیان	۶- استاد ممتحن دوم



## تقدیم به

### پدر و مادر عزیزم

چرا که نه می توانم کیوان شان را که در راه عزت ما سفید شد، سیاه کنم و نه برای دست های پینه بسته شان که شمره تلاش برای افتخار ماست، مرهبی دارم.

پروردگارا؛

پس توفیقم ده که در هر لحظه شکر گزارشان باشم و ثنایه های عمرم را در عصای دست بود نشان بگذرانم.

### همسر عزیزم

به پاس قدردانی از قلبی آکنده از عشق و معرفت که محیطی سرشار از سلامت و آرامش را صبورانه برای من فراهم آورده است.

## شکر و قدردانی

سپاس خدای را که هر چه دارم از اوست...

امید بندگان در هر مکان به اوست...

با تشکر از دو استاد بزرگوارم که شایسته‌ی هر نوع سپاس، تجلیل و تکریم‌اند؛  
پروفسور محمد عطائی و پروفسور رضا خالوکاکائی اساتید راهنمای ارجمند که با ایجاد علاقه به نوشتن،  
صبورانه، با ارائه رهنمودها، انتقادات و پیشنهادهایشان، در تمامی مراحل اجرای این پایان‌نامه مرا حمایت  
و تشویق کردند.

صمیمانه از جناب آقای مهندس مرتضی شناور؛ استاد مشاور محترم که با نظرهای اصلاحی ارزنده‌ی خود،  
ضمن دلگرمی بنده، موجب تکمیل این اثر شدند، سپاس گزارم.

## تعهد نامه

اینجانب محسن دلربای دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی معدن دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بهینه‌سازی سیستم حمل و نقل و جانمایی دستگاه‌های پیش‌فرآوری در معادن پلاستی سنگ آهن سنگان (مطالعه موردی: معدن امیرسنگان پارسین) تحت راهنمایی دکتر محمد عطائی و دکتر رضا خالوکاکائی متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

### تاریخ

### امضای دانشجو

### مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

\* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد.

## چکیده

بخش اصلی هزینه تمام شده ماده معدنی در معادن تحت تأثیر هزینه‌های حمل و نقل است. صرفه‌جویی در این بخش از هزینه‌های معدن کاری که بخش اعظم هزینه‌ها را شامل می‌شود، می‌تواند راهکار مناسبی برای مقابله با افت و کاهش قیمت فروش ماده معدنی برای ادامه حیات معدن و اقتصادی بودن استخراج باشد. لذا، لازم است هزینه‌های حمل و نقل بهینه شود.

دستگاه‌های پیش‌فرآوری در معادن سنگ آهن پلاستی سنگان کار جداسازی اولیه باطله را انجام می‌دهند. هدف از این تحقیق ارائه مدلی برای جانمایی دستگاه‌های پیش‌فرآوری و بهینه‌سازی سیستم حمل و نقل برای معدن امیرسنگان پارسین می‌باشد. بدین منظور، مدل کمینه‌سازی هزینه‌های حمل بار توسط کامیون‌ها از جبهه‌کارها به دستگاه‌های پیش‌فرآوری و از آنجا به مراکز تخلیه باطله و سایت دانه‌بندی با هدف تضمین تولید برنامه‌ریزی شده معدن، توسعه داده شده است. با در نظر گرفتن معیارهای مکانیک سنگی دیواره‌ها، ۸ نقطه کاندیدا برای نصب دستگاه‌های پیش‌فرآوری انتخاب شد. مدل تخصیص سه‌بعدی در قالب برنامه‌ریزی حمل و نقل برای تعیین مسیرهای بهینه رفت بر اساس کمترین هزینه ارسال مواد برای جداسازی و پس از آن انتقال مواد جدا شده به انباشت‌گاه باطله و سایت دانه‌بندی در نرم‌افزار Visual Studio 2010 با زبان برنامه‌نویسی ++C نوشته شد و با حل کننده ILOG CPLEX جواب بهینه محاسبه شد. پس از حل مدل، محل شماره ۷ و ۸ از نقاط مورد نظر برای نصب دو دستگاه پیش‌فرآوری تعیین شد. این جواب مسیرهای بهینه رفت و نحوه توزیع بار را نیز مشخص کرده است.

سپس با توجه به نقاط تعیین شده برای نصب دستگاه‌های پیش‌فرآوری و تعیین مسیرهای رفت بهینه، مدل حمل و نقل بر اساس حداقل زمان ممکن برای بازگشت کامیون‌ها به محل بارگیری ارائه شد و مسیرهای بهینه برگشت و نحوه توزیع کامیون‌های خالی به نقاط بارگیری تعیین شد. تمام زمان‌های لازمی برای طی کردن مسیرهای بهینه رفت و برگشت توسط کامیون‌ها اندازه‌گیری شد و با احتساب زمان‌های بارگیری و تخلیه بار، تعداد کامیون‌های مورد نیاز برای انجام این چرخه باربری تعیین شد.

نتایج حاصل از حل این مدل، نشان دهنده کاهش ۲۸/۵ درصدی شمار کامیون‌های مورد نیاز برای حمل میزان تولید برنامه‌ریزی شده، است. همچنین با توجه به تخصیص مناسب کامیون‌ها به دستگاه‌های پیش‌فرآوری نیاز تخصیص ثابت هر دستگاه پیش‌فرآوری به جبهه‌کار خاص برطرف شده است که این امر نیز یک عدد از تعداد دستگاه‌های پیش‌فرآوری مورد نیاز برای جداسازی خوراک اولیه را از حالت فعال به حالت آماده به کار تغییر داده است.

**کلمات کلیدی:** معدن پلاسری سنگ‌آهن امیرسنگان پاریسین، دستگاه‌های پیش‌فرآوری، بهینه‌سازی سیستم حمل و نقل، مدل تحقیق در عملیات، جانمایی، حل کننده CPLEX.



# فهرست مطالب

عنوان

صفحه

## فصل اول: کلیات

- ۱-۱- مقدمه ..... ۲
- ۲-۱- بیان مسأله ..... ۳
- ۳-۱- ضرورت و هدف از انجام تحقیق ..... ۴
- ۴-۱- پیشینه تحقیق ..... ۵
- ۵-۱- ساختار تحقیق ..... ۵

## فصل دوم: مروری بر کارهای گذشته

- ۱-۲- مقدمه ..... ۸
- ۲-۲- مرور ادبیات در حوزه بهینه‌سازی سیستم حمل و نقل ..... ۹
- ۳-۲- مرور ادبیات در حوزه تخصیص سه‌بعدی ..... ۱۳
- ۴-۲- مرور ادبیات در حوزه جانمایی تجهیزات و تخصیص ..... ۱۷
- ۴-۲- جمع‌بندی ..... ۱۹

## فصل سوم: تحقیق در عملیات و الگوریتم‌ها

- ۱-۳- مقدمه ..... ۲۲
- ۲-۳- انواع مدل‌سازی در حل مسائل تحقیق در عملیات ..... ۲۳

- ۲۳..... ۱-۲-۳- مدل شمایی
- ۲۳..... ۲-۲-۳- مدل قیاسی
- ۲۳..... ۳-۲-۳- مدل‌های ریاضی یا سمبولیک
- ۲۴..... ۳-۳- ضرورت استفاده از تحقیق در عملیات
- ۲۶..... ۴-۳- کاربرد تحقیق در عملیات
- ۲۷..... ۵-۳- رویکرد تحقیق در عملیات برای حل مسأله تحقیق در عملیات
- ۲۷..... ۱-۵-۳- مشاهده
- ۲۸..... ۲-۵-۳- تعریف مسأله
- ۲۸..... ۳-۵-۳- ساختن مدل
- ۲۸..... ۴-۵-۳- حل مدل
- ۲۹..... ۵-۵-۳- اجرای نتایج
- ۲۹..... ۶-۵-۳- تکرار پذیر بودن فرآیند تحقیق در عملیات
- ۲۹..... ۶-۳- الگوریتم‌ها و حل‌کننده‌های کمکی
- ۳۰..... ۱-۶-۳- الگوریتم دایجسترا
- ۳۲..... ۲-۶-۳- حل‌کننده CPLEX
- ۳۳..... ۱-۲-۶-۳- روش‌های به‌کاربردن CPLEX
- ۳۴..... ۲-۲-۶-۳- مقایسه CPLEX با حل‌کننده‌های مشابه
- ۳۶..... ۳-۲-۶-۳- مزایای CPLEX
- ۳۶..... ۷-۳- جمع‌بندی

## فصل چهارم: معادن پلاستی سنگ آهن سنگان

- ۴۰-۱-۴- مقدمه .....
- ۴۱-۲-۴- معادن پلاستی و روش‌های متداول استخراج معادن .....
- ۴۱-۱-۲-۴- تعریف پلاسترها .....
- ۴۲-۲-۲-۴- اهمیت نهشته‌های پلاستی .....
- ۴۲-۳-۲-۴- روش‌های استخراج معادن پلاستی .....
- ۴۵-۳-۴- معادن سنگ آهن پلاستی سنگان .....
- ۴۶-۴-۴- روش‌های متداول استخراج در معادن سنگ آهن پلاستی سنگان .....
- ۴۹-۵-۴- سیستم حمل و نقل در معادن .....
- ۵۰-۱-۵-۴- اهمیت کاربرد کامیون‌ها در معادن .....
- ۵۲-۶-۴- سیستم‌های در حال کار در معادن پلاستی سنگان .....
- ۵۲-۱-۶-۴- سیستم بیل مکانیکی و کامیون .....
- ۵۳-۲-۶-۴- سیستم بولدوزر-لودر و کامیون .....
- ۵۳-۳-۶-۴- دستگاه پیش‌فراوری .....
- ۵۴-۱-۳-۶-۴- تاریخچه استفاده از انواع دستگاه‌های پیش‌فراوری .....
- ۵۶-۲-۳-۶-۴- ضرورت استفاده از دستگاه‌های پیش‌فراوری .....
- ۵۷-۳-۳-۶-۴- ویژگی‌های دیگر دستگاه‌های پیش‌فراوری .....
- ۵۹-۴-۳-۶-۴- تقسیم‌بندی دستگاه‌های پیش‌فراوری .....
- ۶۱-۵-۳-۶-۴- انواع سنگ آهن ورودی به دستگاه پیش‌فراوری .....

۶۲ ..... ۷-۴- جمع بندی

## فصل پنجم: جانمایی بهینه دستگاه های پیش فرآوری

۶۶ ..... ۱-۵- مقدمه

۶۷ ..... ۲-۵- تعیین محل استخراج

۶۹ ..... ۳-۵- تعیین نقاط کاندیدا برای نصب دستگاه های پیش فرآوری

۷۱ ..... ۴-۵- ثبت اطلاعات مورد نیاز در معدن

۷۲ ..... ۱-۴-۵- اطلاعات ثبت شده از عملیات

۷۵ ..... ۲-۴-۵- اطلاعات قراردادی ثبت شده در معدن

۷۵ ..... ۱-۲-۴-۵- هزینه های باربری کامیون ها

۷۵ ..... ۲-۲-۴-۵- هزینه های اپراتوری دستگاه های پیش فرآوری

۷۵ ..... ۳-۲-۴-۵- دستگاه پیش فرآوری آماده به کار

۷۶ ..... ۵-۵- روند بهینه سازی مسأله

۷۸ ..... ۶-۵- مدل ارائه شده برای جانمایی دستگاه های پیش فرآوری

۷۸ ..... ۱-۶-۵- تابع هدف مدل ارائه شده

۷۹ ..... ۲-۶-۵- محدودیت های مدل ارائه شده

۸۳ ..... ۳-۶-۵- جواب مدل ارائه شده

۸۶ ..... ۷-۵- انتخاب مسیرهای بهینه برگشت

۸۶ ..... ۱-۷-۵- اطلاعات ورودی

۸۹ ..... ۲-۷-۵- تابع هدف

۸۹.....محدودیت‌ها ۳-۷-۵

۹۰.....جواب ۴-۷-۵

۹۱.....تعداد کامیون مورد نیاز در چرخه کاری ۸-۵

۹۳.....ارزیابی مدل ارائه شده و مقایسه نتایج با شرایط پیشین ۹-۵

## فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۹۶.....نتیجه‌گیری ۱-۶

۹۷.....پیشنهادات ۲-۶

۹۹.....منابع

۱۰۳.....پیوست‌ها

# فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۲-۱- محدودیت‌های Axial 3-IAP	۱۶
شکل ۳-۱- انواع مدل‌های تحقیق در عملیات	۲۵
شکل ۳-۲- فرآیند حل مسأله در تحقیق در عملیات	۲۷
شکل ۳-۳- گراف فرضی برای حل الگوریتم دایجسترا	۳۱
شکل ۴-۱- انواع روش‌های استخراج سطحی	۴۲
شکل ۴-۲- نقشه راه‌های دسترسی و موقعیت محل مورد مطالعه	۴۶
شکل ۴-۳- روند استخراج تا فرآوری در معادن پلاسری سنگان	۴۸
شکل ۴-۴- هزینه‌های عملیاتی حمل و نقل	۵۱
شکل ۴-۵- سیستم بیل مکانیکی و کامیون	۵۲
شکل ۴-۶- سیستم بولدوزر-لودر و کامیون	۵۳
شکل ۴-۷- پولی مگنت برای انجام مرحله پیش‌فرآوری	۵۵
شکل ۴-۸- دستگاه‌های پیش‌فرآوری با سرند گریزلی برای خاک مخلوط	۵۸
شکل ۴-۹- نمونه‌ای از دستگاه پیش‌فرآوری	۶۰
شکل ۴-۱۰- خطوط ثابت فرآوری	۶۱
شکل ۴-۱۱- نمایی از یک دستگاه پیش‌فرآوری در حال در معدن پارسیان	۶۲
شکل ۵-۱- نمایی از پنج جبهه کار A تا E	۶۸
شکل ۵-۲- نمایی از دیواره کاندیدا برای نصب دستگاه‌های پیش‌فرآوری	۷۰
شکل ۵-۳- موقعیت استقرار دستگاه‌ها و نقاط پیشنهادی برای نصب دستگاه‌های پیش‌فرآوری	۷۱
شکل ۵-۴- روند بهینه‌سازی سیستم حمل و نقل و جانمایی دستگاه‌های پیش‌فرآوری	۷۷
شکل ۵-۵- تمام مسیرهای رفت ممکن برای انتقال کامیون‌های پر	۷۸
شکل ۵-۶- مسیرهای بهینه رفت برای انتقال بار توسط کامیون‌های پر	۸۴

شکل ۵- ۷- تمام مسیرهای ممکن برای برگشت کامیون‌های خالی ..... ۸۷

شکل ۵- ۸- مسیرهای بهینه برگشت ..... ۹۰

شکل ۵- ۹- مقایسه تعداد کامیون‌های مورد نیاز در شرایط سنتی و حل مدل ارائه شده ..... ۹۴

شکل ۵- ۱۰- مقایسه تعداد دستگاه‌های پیش‌فرآوری مورد نیاز ..... ۹۴

## فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۲-۱- پژوهش‌های انجام شده در زمینه بهینه‌سازی ترابری معادن	۹
جدول ۲-۲- پژوهش‌های انجام شده در زمینه تخصیص سه‌بعدی	۱۴
جدول ۲-۳- پژوهش‌های انجام شده در زمینه جانمایی و تخصیص	۱۷
جدول ۳-۱- فراوانی استفاده از مدل‌های تحقیق در عملیات	۲۶
جدول ۳-۲- مراحل انتخاب رئوس در الگوریتم دایجسترا	۳۱
جدول ۳-۳- مقایسه توانایی حل برخی از حل‌کننده‌ها توسط شرکت GAMS	۳۵
جدول ۵-۱- میزان تولید در هر جبهه کار	۶۹
جدول ۵-۲- فاصله بین تمام گره‌ها بر حسب متر	۷۲
جدول ۵-۳- کوتاه‌ترین فاصله بین تمام نقاط برای عبور کامیون‌های پر بر حسب متر	۷۲
جدول ۵-۴- متوسط زمان طی مسیر کامیون‌های پر بین تمام نقاط بر حسب دقیقه	۷۳
جدول ۵-۵- کوتاه‌ترین مسیرهای ممکن برای برگشت کامیون‌های خالی	۷۳
جدول ۵-۶- متوسط زمان برگشت کامیون‌های خالی	۷۴
جدول ۵-۷- هزینه‌های پیمانکاری باربری	۷۵
جدول ۵-۸- پارامترهای مورد استفاده در تابع هدف	۷۹
جدول ۵-۹- پارامترهای استفاده شده در محدودیت‌ها	۸۱
جدول ۵-۱۰- مسیرهای تعیین شده برای کمترین هزینه جداسازی ۸۰۰ تن خاک	۸۴
جدول ۵-۱۱- نحوه توزیع بار از نقاط استخراجی به دستگاه‌ها و از دستگاه‌ها به مقاصد نهایی	۸۵
جدول ۵-۱۲- فاصله مسیرهای ممکن برگشت بر حسب متر	۸۷
جدول ۵-۱۳- متوسط زمان‌های برگشت کامیون‌های خالی	۸۷
جدول ۵-۱۴- تعداد دفعات تخلیه بار	۸۸
جدول ۵-۱۵- نحوه توزیع کامیون‌ها پس از تخلیه بار	۹۰
جدول ۵-۱۶- مجموع زمان مورد نیاز برای طی شدن مسیر رفت از نقاط عرضه به نقاط تقاضا بر حسب دقیقه	۹۱
جدول ۵-۱۷- کل زمان‌های مورد نیاز برای چرخه کامل بارگیری، باربری و تخلیه بار بر حسب دقیقه	۹۲



# فصل اول:

کلیات

## ۱-۱- مقدمه

هزینه‌های بارگیری و باربری در معادن سطحی سهم قابل توجهی در قیمت تمام شده محصول نهایی دارد و بالغ بر نیمی از هزینه‌های معدن‌کاری را شامل می‌شود. با توجه به افزایش میزان استخراج و بیشتر شدن عمق دستیابی به ماده معدنی، نیاز روزافزون به بهینه‌سازی سیستم‌های حمل و نقل معادن به منظور بهره‌وری بالاتر و سود بیشتر در معادن محسوس‌تر می‌شود.

در بعضی از معادن باید یک مرحله فرآوری اولیه در نزدیک‌ترین مکان ممکن به خوراک اولیه صورت گیرد که به این مرحله «مرحله‌ی پیش‌فرآوری» گفته می‌شود. دستگاه‌های پیش‌فرآوری در معادن سنگ آهن پلاسری سنگان که کار اصلی جداسازی اولیه (حدود ۹۰٪) باطله را انجام می‌دهند در روند سودرسانی و کاهش هزینه‌های حمل و نقل اهمیت ویژه‌ای دارند. از این جهت در معادن پلاسری آهن، تعیین محل مناسب این دستگاه‌ها بسیار حائز اهمیت است.

در میان روش‌های بهینه‌سازی، روش‌های تحقیق در عملیاتی با توجه به انعطاف‌پذیری و قابلیت کاربرد بالای آن‌ها در سیستم‌های ترابری معادن دنیا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. با توجه به پیشرفت و گسترش معدنکاری در ایران، نیاز به کارگیری این روش‌ها محسوس است.

## ۱-۲- بیان مسأله

سیستم حمل بار با کامیون یک سیستم پیچیده ماشینی-انسانی در معادن روباز است. دلایل پیچیده شدن ماهیت حمل و نقل به شرح زیر است (Temeng et al., 1997):

- همیشه توپوگرافی معدن ناهمگون است و یک شبکه پیچیده از مسیرهای حمل و نقل بین ایستگاه‌های بارگیری و نقاط تخلیه تشکیل می‌شود.

- شرایط عملیاتی تجهیزات بارگیری و باربری به علت خرابی، ناپایدار است.

- دستگاه‌های پیش‌فرآوری، سنگ شکن‌ها و یا نقاط تخلیه محدودیت ظرفیت دارند.

- امکان تغییر عیار در جبهه کارها وجود دارد که ممکن است موجب تغییر مکان در زمان‌های مختلف شود.

- در اقتصادی بودن معدن، نسبت باطله به ماده معدنی تأثیرگذار است.

- تولید روزانه معدن نقش مهمی در سیستم حمل و نقل دارد و بر پیچیدگی این سیستم می‌افزاید.

در این شرایط تصمیم‌گیری نسبت به مسیر حرکت و استفاده مؤثر از تجهیزات بسیار ضروری به نظر می‌رسد و مسئولین معدن با تصمیم‌گیری‌هایی که مطابق اهداف برنامه‌ریزی تولید در جهت پیشینه کردن تولید، کمینه کردن هزینه‌ها و در نظر گرفتن محدودیت‌های مسأله است، روبرو هستند. با توجه به سیستم حمل بار توسط کامیون‌ها و تقسیم بار به دو قسمت اصلی باطله و ماده معدنی در بخش‌های مختلف معدن، در این تحقیق تلاش بر بهینه‌سازی مسیرها و تعیین محل مناسب برای به کار بردن این دستگاه‌ها در جهت کاهش هزینه‌ها است.

سؤالات اساسی که در این میان مطرح می‌شود این است که:

- دستگاه‌های پیش‌فرآوری در کدام نقاط نصب شوند تا کمترین هزینه جابجایی برای جداسازی

اولیه آهن از باطله انجام شود؟

- هر کدام از کامیون‌ها پس از تخلیه در دستگاه پیش‌فرآوری یا انباشت‌گاه باطله برای حفظ اهداف تولید از کدام نقطه بارگیری و یا دستگاه پیش‌فرآوری بار را تأمین کنند؟

- چه تعداد کامیون برای به مقصد رساندن مواد تولید شده نیاز است؟

پاسخ به سؤالات فوق نیازمند بهینه‌سازی در سیستم حمل و نقل است. بهینه‌سازی در این سیستم شامل یافتن مسیرهای بهینه است که با مدل‌های بهینه‌سازی که در تحقیق در عملیات در قالب مدل‌های ریاضی ارائه شده‌اند انجام می‌شود.

جانمایی بهینه تجهیزات پیش‌فرآوری در معادن پلاستی سنگان و انتخاب بهینه مسیرهای حمل و نقل در این معادن، موجب افزایش میزان تولید به ازای تجهیزات (بهره‌وری)، کاهش هزینه ترابری و پیرو آن کاهش هزینه تمام شده استحصال ماده معدنی و در نهایت افزایش سودآوری می‌شود.

### ۱-۳- ضرورت و هدف از انجام تحقیق

بهینه‌سازی سیستم‌های حمل و نقل در معادن با توجه به هزینه‌های بالای این فرآیند و بهینه‌سازی مسافت طی شده توسط کامیون‌ها و همچنین تخصیص کامیون‌ها به شکل صحیح بسیار مهم هستند. با مطرح شدن روش‌های تحقیق در عملیاتی، افزایش قدرت و سرعت کامپیوترها استفاده از این سیستم‌های بهینه ترابری در معادن اجتناب ناپذیر است. یکی از عملیاتی که در معادن به سرعت توجه متخصصان تحقیق در عملیاتی را به خود جلب کرده است، ترابری معادن روباز است که دلیل آن پرهزینه بودن این عملیات می‌باشد و با بهینه کردن آن می‌توان صرفه‌جویی‌های بسیاری در معادن داشت (یاوری و همکاران، ۱۳۸۳).

با انتخاب بهینه مسیرهای تردد و تخصیص مناسب کامیون‌ها در زمان‌های مختلف و در نظر گرفتن کوتاه‌ترین مسیر و به حداقل رساندن هزینه‌های گزاف ترابری می‌توان مکان مناسب برای جانمایی دستگاه‌های پیش‌فرآوری که به نحوی می‌توان آن‌ها را نقاط اصلی (عطف) تمرکز کامیون‌ها

دانست را تعیین کرد. به این روش می‌توان از هزینه‌های گزاف ترابری کاسته و هزینه تمام شده استخراج و استحصال ماده معدنی را کاهش داد.

اهداف دیگر تحقیق عبارتند از:

- انتخاب محل مناسب برای دفع باطله و جلوگیری از تضييع منابع در این معادن
- انتخاب تعداد مناسبی از دستگاه‌های پیش‌فرآوری و استفاده از حداقل انرژی و نیرو در صورتی که دستگاه‌ها در مکان‌های مناسبی جانمایی شوند.
- استفاده از حداقل تعداد کامیون مورد نیاز برای رسیدن به هدف و برنامه‌ریزی تولید مورد نظر.
- لذا با بهینه‌سازی هر مرحله از استخراج معادن می‌توان هزینه‌های تمام شده را کاهش داد و از پتانسیل‌های مناسب بهره‌مندی کافی برد.

#### ۴-۱- پیشینه تحقیق

پژوهش‌های بسیاری پیرامون موضوع بهینه‌سازی ترابری در معادن انجام شده است. همه محققان در این زمینه برای کاهش هزینه‌ها تلاش کرده‌اند و روش‌های مختلفی را برای رسیدن به این مهم بررسی و امتحان کرده‌اند. مطالعات محققین گذشته به طور مفصل در بخش دوم آورده شده است.

#### ۵-۱- ساختار تحقیق

پس از فصل اول که به کلیات اختصاص داشت، در فصل دوم، به مرور ادبیات پرداخته خواهد شد. در فصل سوم، تحقیق در عملیات، الگوریتم‌های کمکی و روش حل مسأله توسط آن‌ها توضیح داده خواهد شد. در فصل چهارم، مشخصات معدن و محدوده مورد مطالعه شرح داده خواهد شد. در فصل پنجم، نحوه کاربرد تحقیق در عملیات در سیستم ترابری و به کارگیری آن در محدوده مورد مطالعه بیان خواهد شد.

در فصل ششم، نتیجه‌گیری و بحث پیرامون موضوع آورده شده است و بعد از آن پیشنهادات ارائه شده است.



## فصل دوم:

مروری بر کارهای گذشته

## ۲-۱- مقدمه

به کاربردن تحقیق در عملیات توسط مدیران در حوزه‌های مختلف، کنترل سیستم و کاهش هزینه‌های چشم‌گیری به دنبال داشته است. در حوزه معدن‌کاری در یکی از پرکاربردترین بخش‌ها یعنی سیستم حمل و نقل، مطالعات بسیاری در این زمینه انجام شده است و محققین با تخصیص منابع به شکل صحیح در کاهش هزینه‌ها تلاش‌های بسیاری انجام داده‌اند.

در حوزه اجتماعی و مدیریتی، انواع تخصیص‌ها با شرایط و ضوابط مختلف صورت گرفته است. به کار بردن تجربیات این پژوهشگران در زمینه‌های دیگر مستلزم مرور فعالیت‌های پیشین و بررسی نیاز حوزه‌های دیگر با دقت بالا است. این امر را می‌توان با بررسی نظریه‌های علمی و مشاهدات عملی و ایجاد ارتباط بین آن‌ها در راستای هدف‌های تعیین شده، بدست آورد.

در این فصل مرور ادبیات به سه بخش تقسیم می‌شود که در هر حوزه دیدگاه حل مسائل متفاوت است. در حوزه معدن‌کاری دیدگاه دوبعدی است و در دو سطح تخصیص انجام می‌شود، در ادامه کاربرد تخصیص سه‌بعدی و نحوه استفاده از آن در سیستم توضیح داده شده است. در حوزه سوم،



جانمایی و تخصیص همزمان در نظر گرفته شده است که در آن محل استقرار خدمت دهنده و مشتری‌ها و سپس تخصیص مشتری‌ها به خدمت‌دهندگان به صورت دویبعدی انجام شده است.

## ۲-۲- مرور ادبیات در حوزه بهینه‌سازی سیستم حمل و نقل

در جدول ۱-۲ خلاصه فعالیت‌های پژوهشگرانی که در زمینه ترابری در معادن با استفاده از روش‌های مختلف تلاش در کاهش هزینه‌ها در سه دهه اخیر داشته‌اند، آورده شده است و در ادامه به بررسی چند مورد مهم و پرکاربرد پرداخته شده است.

جدول ۱-۲- پژوهش‌های انجام شده در زمینه بهینه‌سازی ترابری معادن

ردیف	عنوان	نویسندگان	سال انتشار
۱	بهینه‌سازی سیستم کامیون-شاول و مدل‌سازی دیسپچینگ با شرط کمینه کردن زمان انتظار شاول برای افزایش تولید	لیزوت <sup>۱</sup> و بوناتس <sup>۲</sup>	۱۹۸۷
۲	شبیه‌سازی سیستم باربری با استفاده از میکروکامپیوترها و نرم‌افزارهای SLAM و FITPLUS برای بررسی آماری	کاستیلو <sup>۳</sup> و کوچران <sup>۴</sup>	۱۹۸۷
۳	برنامه‌ریزی تولید و تخصیص کامیون‌ها در معادن روباز با هدف کمینه کردن زمان انتظار بین کامیون و شاول به وسیله مدل‌های ریاضی	البروند <sup>۵</sup> و سومیس <sup>۶</sup>	۱۹۸۷
۴	ارائه سیستم خودکار کنترل باربری و افزایش تولید در معادن روباز	اسگورف <sup>۷</sup> و همکاران	۱۹۸۹
۵	تخصیص کامیون‌ها و آغاز استفاده از روش‌های چند مرحله‌ای، استفاده از برنامه‌ریزی خطی برای مرحله تخصیص و استفاده از کمترین نسبت انحراف برای مرحله دوم، گسیل کامیون‌ها	خی <sup>۸</sup> و یگولالپ <sup>۹</sup>	۱۹۹۴
۶	تخصیص کامیون‌ها با استفاده از الگوریتم انتقالی با حفظ کیفیت و اهداف تولید برای کاهش هزینه‌ها و زمان انتظار کامیون و شاول	تمنگ <sup>۱۰</sup> و همکاران	۱۹۹۷
۷	استفاده از مدل‌های تحقیق در عملیاتی برای بهینه‌سازی عملیات ترابری شاول-کامیون تخصیص زمانی-واقعی	ستاروند	۱۳۸۰ (۲۰۰۱)
۸	مطالعه راه حل‌های مورد استفاده در سیستم تخصیص کامیون در معدن روباز و بررسی استراتژی‌های مختلف برحسب تعداد کامیون و شاول	آلاری <sup>۱۱</sup> و گاماچه <sup>۱۲</sup>	۲۰۰۲
۹	تعیین مسیرهای رفت و برگشت سیستم حمل و نقل و طراحی الگوریتم گسیل نیمه اتوماتیک	یاوری و همکاران	۱۳۸۲ (۲۰۰۳)
۱۰	استفاده از رویکرد بهینه‌سازی تصادفی، آماری برای تطبیق پارامترهای غیر قطعی برای تخصیص کامیون‌های معدن	چانگ تا <sup>۱۳</sup> و همکاران	۲۰۰۵

<sup>1</sup>- Lizotte

<sup>3</sup>- Castillo

<sup>5</sup>- Elbrond

<sup>7</sup>- Sgurev

<sup>9</sup>- Yegulalp

<sup>11</sup>- Alarie

<sup>13</sup>- Chung TA

<sup>2</sup>- Bonates

<sup>4</sup>- Cochran

<sup>6</sup>- Soumis

<sup>8</sup>- Xi

<sup>10</sup>- Temeng

<sup>12</sup>- Gamache

ادامه جدول ۲-۱- پژوهش‌های انجام شده در زمینه بهینه‌سازی ترابری معادن

۱۳۸۴ (۲۰۰۵)	چهره‌فانی	کمینه کردن کار انجام شده توسط کامیون‌ها و پیرو آن کمینه شدن تعداد کامیون مورد استفاده در معدن مس سرچشمه	۱۱
۲۰۰۷	کراوس <sup>۱</sup> و موسینگ <sup>۲</sup> وینی	مدل کردن سیستم شاول کامیون با استفاده از MRM و تخمین اندازه ناوگان کامیون‌ها در معادن روباز	۱۲
۲۰۱۳	چانگ تا و همکاران	یک مدل خطی برای تخصیص کامیون‌ها و تعیین احتمال بی‌بار شدن شاول‌ها با محدودیت بیشترین عیار ماده معدنی	۱۴
۲۰۱۳	ورگارا <sup>۳</sup> و رووت <sup>۴</sup>	بهینه‌سازی تخصیص ناوگان مرکب در شبکه ایستگاه‌های باربری با رویکرد حداقل کردن کل هزینه‌های ترابری	۱۵
۲۰۱۴	مارکوویچ <sup>۵</sup> و همکاران	تخصیص کامیون‌ها برای سیستم باربری	۱۶
۲۰۱۵	هاشمی و ستاروند	به‌کارگیری نرم افزار شبیه سازی Arena برای ارزیابی سیستم حمل و نقل معدن کاری روباز	۱۷

لیزوت و بوناتس، برنامه‌ای برای بهینه‌سازی تولید کامیون-شاول تهیه کردند و یک سیستم کوچک مقیاس را شبیه‌سازی کردند. شروطی که مد نظر آن‌ها قرار داشت، اول کمینه کردن زمان انتظار شاول‌ها، دوم بیشینه کردن استفاده لحظه‌ای از کامیون و گسیل آن‌ها به شاول‌ها برای رسیدن به شروط مد نظر و سوم برقراری توازن در مواقع تغییرات سنتی با فاکتور انطباق<sup>۶</sup> در طول شیفت کاری بوده است (Lizotte & Bonates, 1987).

در راستای اهداف تولید، یکی از راهکارهای ارائه داده شده، افزایش تعداد کامیون‌ها است، با این روش زمان انتظار شاول به حداقل می‌رسد. راهکار دیگر افزایش تولید شاول با کمینه کردن زمان انتظار شاول است. این قانون عادلانه تولید شاول را متوازن می‌کند و به اهداف نزدیک می‌کند. راهکار دیگری که مدنظر نویسندگان بوده است، استفاده از فاکتور انطباق بوده است که از رابطه ۲-۱ محاسبه می‌شود (Lizotte & Bonates, 1987):

$$\text{فاکتور انطباق} = \frac{(\text{زمان چرخه بارکننده}) (\text{تعداد باربرها})}{(\text{زمان چرخه باربری}) (\text{تعداد بارکننده})} \quad (1-2)$$

<sup>1</sup>- Krause

<sup>3</sup>-Vergara

<sup>5</sup>- Markovic

<sup>2</sup>- Musingwini

<sup>4</sup>- Root

<sup>6</sup>- Match Factor

زمانی که مقدار فاکتور انطباق بیش از یک باشد، تعداد کامیون‌ها زیاد است و اگر کمتر از یک باشد، تعداد کامیون‌ها کم است. میزان تولید معدن در یک شیفت با هر کدام از رویکردها بررسی شده است و هر کدام از آن‌ها نتایجی داشته که با سیاست و برنامه‌ریزی متفاوت در زمان‌های مختلف معدن امکان به‌کارگیری آن‌ها وجود داشته است (Lizotte & Bonates, 1987).

تمنگ و همکاران، برای حل مسأله تخصیص کامیون از مدل برنامه‌ریزی آرمانی برای نرخ جریان بهینه از مواد معدنی یا باطله از هر کدام از ایستگاه‌های بارگیری به هر کدام از نقاط تخلیه استفاده کردند و برای گسیل زمان واقعی از مدل ترابری و کمینه کردن زمان انتظار شاول‌ها و کامیون‌ها استفاده کردند (Temeng et al., 1997).

یاوری و همکاران، مسیرهای بهینه رفت و برگشت را برای سیستم حمل و نقل بر اساس مدل کمینه‌سازی طول مسیر برای تخصیص کامیون‌ها تعیین کردند و سیستم گسیل نیمه اتوماتیک را برای این مسیرها اجرا کردند (یاوری و همکاران، ۱۳۸۲).

چانگ تا و همکاران، مدلی ارائه دادند که هدف اصلی آن‌ها تخصیص کامیون با پشتیبانی از هدف نهایی تولید، یعنی بیشینه کردن سود ناشی از عملیات است. تابع هدف آن‌ها طبق رابطه ۲-۲ تعریف شده است (Chung Ta et al., 2005):

$$Min Truck \sum_s \sum_d \sum_g K(g) X(s, d, g) \quad (2-2)$$

در این مدل، اندیس‌های  $s$ ،  $d$  و  $g$  به ترتیب به شاول، دامپ و کامیون اشاره دارد.  $X(s, d, g)$  نرخ گسیل کامیون نوع  $g$  در مسیر بیل شاول  $s$  و دامپ  $d$  و  $k(g)$  فاکتور هزینه است که به نوع کامیون بستگی دارد. آن‌ها در زمینه سطح تولید و ظرفیت انباشت مواد محدودیت‌هایی به‌کار بردند، بر حسب توان شاول‌ها کامیون‌هایی تخصیص دادند و بیشترین تعداد ممکن برای کامیون‌ها را تعیین کردند (Chung Ta et al., 2005).

چهره‌قانی و همکاران، اثبات کردند با استفاده از مدل‌های تخصیص و گسیل زمانی-واقعی<sup>۱</sup> در سامانه شاول-کامیون، می‌توان تولید ناوگان ماشین‌آلات معدنی را افزایش داد. آن‌ها مدل چانگ تا را در سال ۲۰۰۴ توسعه دادند و در معدن مس سرچشمه به کار گرفتند. آن‌ها با استفاده از تعداد کامیون کمتر ۲۸/۵ درصد تولید معدن را افزایش دادند. آن‌ها تابع هدفی را معرفی کردند که از دو بخش تشکیل شده که بیانگر حرکت کامیون‌های پر و خالی در مسیرهای رفت و برگشت می‌باشد (چهره‌قانی و همکاران، ۱۳۸۴):

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^q C_k X_{ijk} t_{ijk} + C_k P_{jik} t_{jik} \quad (3-2)$$

در تابع هدف ۳-۲،  $C_k$  فاکتور هزینه کامیون نوع  $k$  است.  $X_{ijk}$  و  $P_{jik}$  نرخ گسیل کامیون نوع  $k$  از شاول  $i$  به دامپ  $j$  و برعکس است. همچنین  $t_{ijk}$  و  $t_{jik}$  زمان رفت و برگشت کامیون نوع  $k$  از شاول  $i$  به  $j$  و برعکس است.  $n$ ،  $m$  و  $q$  تعداد شاول‌های فعال، دامپ‌های معدن و انواع کامیون‌های به کار گرفته شده است (چهره‌قانی و همکاران، ۱۳۸۴).

هر دو جمله از حاصلضرب تعداد کامیون‌ها در زمان حرکت آن‌ها تشکیل شده است که نشانگر کار انجام شده توسط آن‌ها است. زیرا تعداد کامیون‌ها نمایانگر میزان بار ارسالی است و زمان حرکت آن‌ها نمایانگر مسافت طی شده است که نتیجه آن با توجه به ثابت بودن نسبی مسافت‌ها کمینه شدن تعداد کامیون‌ها را در پی داشته است. محدودیت‌هایی که در این زمینه و برای این تابع هدف در نظر گرفتند شامل برابر بودن تعداد کامیون‌های ورودی و خروجی از هر گره، غیرمنفی بودن تخصیص‌ها، تولید شاول، محدودیت پذیرش کامیون‌ها، حداقل میزان تولید، کنترل کیفی کانسنگ تولیدی، تعداد کامیون در دسترس است (چهره‌قانی و همکاران، ۱۳۸۴).

<sup>۱</sup>- Real-Time

با اعمال این محدودیت‌ها تعداد کامیونی که برای این چرخه کاری محاسبه شده است با تعداد کامیون مورد نیاز محاسبه شده با استفاده از تئوری صف، مقایسه شده و نتایج نشان‌دهنده برتری مدل ارائه شده توسط نویسندگان بوده است (چهره‌قانی و همکاران، ۱۳۸۴).

چانگ تا و همکاران، مدل‌هایی برای سیستم کامیون‌شاول در معادن روباز ارائه دادند. مدل برای کاهش تعداد کامیون‌ها برای یک مجموعه شاول با محدودیت‌های حداکثر ظرفیت و عیار ماده معدنی است. آن‌ها رابطه‌ی غیرخطی احتمال زمان انتظار شاول‌ها را بررسی کردند و تعداد کامیون‌ها با یک تقریب ساده بر اساس تئوری صف منبع محدود به شاول‌ها تخصیص داده شده‌اند. زمان‌های چرخه باربری و بارگیری را محاسبه کرده‌اند و پس از میانگین‌گیری در محاسبات وارد کرده‌اند. برای حل مدل ارائه شده از حل‌کننده CPLEX استفاده کردند که در زمان اندک کمتر از یک ثانیه به جواب رسیده است (Chung Ta et al., 2013).

تمام مدل‌های معرفی شده توسط محققان در این زمینه شامل دو سطح بوده و در حوزه مسائل دوبعدی قرار می‌گیرند. یک سطح به عنوان مبدأ که نقاط استخراجی معادن است، تعیین شده و یک سطح به عنوان نقاط تخلیه در سنگ شکن‌ها و یا مراکز انباشت مواد تعیین شده است و در این مسیرها تخصیص‌ها انجام شده است. مسئله‌ای که در این بخش از نظر محققان اهمیت ویژه‌ای داشته است، ارائه یک مدل حمل و نقل برای کنترل هرچه بیشتر ماشین‌آلات در بازه‌های زمانی مختلف شیفت کاری بوده است که با پیشرفت تکنولوژی این روش‌ها نیز به‌روز شده و در حال حاضر سیستم‌های گسیل لحظه‌ای مورد توجه قرار گرفته است.

## ۲-۳- مرور ادبیات در حوزه تخصیص سه‌بعدی

در مسأله تخصیص سه‌بعدی، تخصیص در سه سطح انجام می‌شود، سطح اول شامل عرضه‌کننده اولیه، سطح دوم شامل تقاضاکننده اولیه و عرضه‌کننده ثانویه و سطح سوم شامل تقاضاکننده ثانویه است. تخصیص در این سه سطح همزمان انجام می‌شود و محدودیت‌های آن سه‌گانه اعمال می‌شود.

در جدول ۲-۲ خلاصه پژوهش‌های انجام شده در حوزه تخصیص سه‌بعدی آورده شده است.

جدول ۲-۲- پژوهش‌های انجام شده در زمینه تخصیص سه‌بعدی

ردیف	عنوان	نویسندگان	سال انتشار
۱	معرفی مدل مسأله تخصیص سه‌بعدی که نوع گسترش یافته‌ای از مسأله‌ی تخصیص دوبعدی است	پیرسکالا <sup>۱</sup>	۱۹۶۸
۲	معرفی مدل باینری مسأله تخصیص سه‌بعدی	فریز <sup>۲</sup>	۱۹۷۴
۳	اثبات پیچیدگی Np-Complete در تخصیص سه‌بعدی	گری <sup>۳</sup> و جانسون <sup>۴</sup>	۱۹۷۹
۴	مدل‌سازی تخصیص ساعات درسی با استفاده از مدل تخصیص سه‌بعدی و حل آن با استفاده از روش الگوریتم آزادسازی لاگرانژ	فریز و یادگار <sup>۵</sup>	۱۹۸۱
۵	مدل‌سازی مسأله‌ی زمان‌بندی کارکنان اتوبوسرانی لندن، با استفاده از مدل تخصیص سه‌بعدی و تبدیل آن به دو مسأله‌ی تخصیص دو بعدی برای حل	تونسند <sup>۶</sup>	۱۹۸۶
۶	بررسی کاربرد دیگری از مسأله تخصیص سه‌بعدی که شامل تولید صفحه‌های مدار است	کراما <sup>۷</sup> و همکاران	۱۹۹۰
۷	بررسی نوع خاص دیگری از مسأله تخصیص سه‌بعدی که در آن هزینه Cijk قابل تبدیل به $a_i, b_j, c_k$ است	بورکارد <sup>۸</sup> و همکاران	۱۹۹۶
۸	معرفی چهار الگوریتم GRASP با دو روش برای حل مسئله تخصیص سه‌بعدی	رابرتسون <sup>۹</sup>	۲۰۰۰
۹	معرفی و اثبات الگوریتم ابتکاری GRASP که با Path Relinking ترکیب شده که روش ابتکاری آن‌ها جواب‌های بهتری نسبت به الگوریتم‌های ابتکاری ارائه شده تاکنون داده است	ایکس <sup>۱۰</sup> و همکاران	۲۰۰۵
۱۰	ارائه الگوریتم ژنتیکی که با روش ابتکاری جستجوی محلی ترکیب شده و نشان دادند جواب‌های آنها هم به لحاظ کیفیت و هم به لحاظ سرعت از جواب‌های به‌دست‌آمده توسط ایکس بهتر است	هانگ <sup>۱۱</sup> و لیم <sup>۱۲</sup>	۲۰۰۶
۱۱	مروری بر مسأله تخصیص سه‌بعدی، انواع آن و بررسی برخی کاربردها و روش‌های حل ارائه شده	بورکارد	۲۰۰۹
۱۲	بررسی دو مدل خاص از تخصیص سه‌بعدی گلوگاه که در آن‌ها بیشترین هزینه‌ها کمینه شده	گوسنس <sup>۱۳</sup> و همکاران	۲۰۱۰
۱۳	ارائه دو روش تازه برای تفکیک کردن MAP به زیرمجموعه‌های جدا از هم و بررسی کارایی برخی روش‌های دقیق و ابتکاری ارائه‌شده برای حل مسأله	وگیاتزیس <sup>۱۴</sup> و همکاران	۲۰۱۴

<sup>1</sup>- Pireskalla

<sup>3</sup>- Garey

<sup>5</sup>- Yadegar

<sup>7</sup>- Crama

<sup>9</sup>- Robertson

<sup>11</sup>- Haung

<sup>13</sup>- Goossens

<sup>2</sup>- Frieze

<sup>4</sup>- Johnson

<sup>6</sup>- Townsend

<sup>8</sup>- Burkard

<sup>10</sup>- Aiex

<sup>12</sup>- Lim

<sup>14</sup>- Vogiatzis

پیرسکالا در پژوهش خود از الگوریتمی شبیه سیمپلکس برای حل مسأله استفاده کرد که در هر گام سه متغیر اضافه و سه متغیر کم می‌شوند. وی مدل مسأله تخصیص سه‌بعدی را که نوع گسترش یافته‌ای از مسأله‌ی تخصیص دوبعدی است در قالب روابط ۲-۴ تا ۲-۸ تعریف کرد که در ادامه آورده شده است (Pireskalla, 1968):

$$\text{Min} \sum_i^r \sum_j^q \sum_k^p C_{ijk} X_{ijk} \quad (۴-۲)$$

s.t:

$$\sum_i^p \sum_j^q X_{ijk} \leq 1, \quad \forall k = 1, \dots, r, \quad (۵-۲)$$

$$\sum_i^p \sum_k^r X_{ijk} \leq 1, \quad \forall j = 1, \dots, q, \quad (۶-۲)$$

$$\sum_j^q \sum_k^r X_{ijk} = 1, \quad \forall i = 1, \dots, p, \quad (۷-۲)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\}, \quad \forall i, j, k \quad (۸-۲)$$

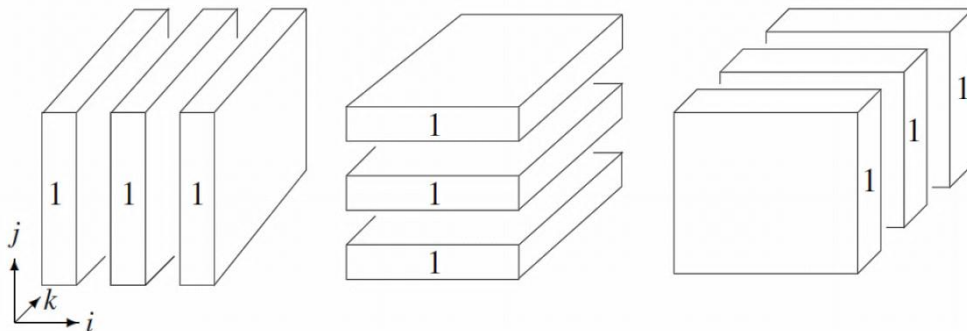
در تابع روابط فوق،  $C_{ijk}$  هزینه تخصیص است و  $X_{ijk}$  متغیر صفر و یک است که به معنی تخصیص آامین بخش به آامین محل در زمان  $k$  است.

بورکارد در کتاب خود مروری بر مسأله تخصیص سه‌بعدی، انواع آن و برخی کاربردها و روش‌های حل ارائه شده اشاره کرد. بر اساس این کتاب این نوع مسأله به دو دسته تقسیم می‌شود؛ دسته‌ی اول مسائل تخصیص سه‌بعدی محوری<sup>۱</sup> و دسته‌ی دوم مسائل تخصیص سه‌بعدی قطبی<sup>۲</sup> است. در مسأله‌ی Axial 3IAP سه مجموعه‌ی  $N_1$ ،  $N_2$  و  $N_3$  که هر کدام دارای  $n$  عضو می‌باشند داده شده و هدف پیدا

<sup>۱</sup>- Axial 3-Indexed Assignment Problem (Axial 3IAP)

<sup>۲</sup>-Planar 3-Indexed Assignment Problem (Planer 3IAP)

کردن سه‌گانه‌هایی است که کل هزینه را حداقل کند. هر کدام از اعضای مجموعه‌های  $N_1$ ،  $N_2$  و  $N_3$  دقیقاً در یک سه‌گانه قرار می‌گیرند؛ بنابراین هدف پیدا کردن  $n$  سه‌گانه‌ی بهینه می‌باشد. در شکل ۱-۲ محدودیت‌های یک Axial 3IAP نشان داده شده است (Burkard, 2009).  
دسته‌ی دوم، در مسئله‌ی Planar 3IAP همان مجموعه‌ها با تعداد اعضای مساوی موجود است اما هدف مسئله پیدا کردن  $n$  به توان ۲ سه‌گانه است که از بحث مورد نظر خارج است.



شکل ۱-۲ - محدودیت‌های Axial 3-IAP (Burkard, 2009)

گوسنس و همکارانش، دو گونه‌ی خاص از مسأله‌ی تخصیص سه‌بعدی گلوگاه<sup>۱</sup> را بررسی کرده‌اند. مسأله‌ی 3D-BA به مسأله‌ای گفته می‌شود که در آن هدف، پیدا کردن بهترین جواب شدنی است به گونه‌ای که بیشترین هزینه‌ی حاصل از سه‌گانه‌های ایجادشده را حداقل کند. گونه‌ی اول با نام B3AP-per معرفی شده که در آن هزینه‌ی حاصل از تخصیص  $(c_{ijk})$  از طریق رابطه‌ی ۲-۸ به دست می‌آید. گونه‌ی دوم B3AP-dia خوانده می‌شود و در آن هزینه‌ی تخصیص از طریق رابطه‌ی ۲-۹ محاسبه می‌شود. در روابط ۲-۹ و ۲-۱۰،  $d$  نمایانگر فاصله‌ی بین دونقطه است. آن‌ها در نهایت برای حل مسأله از دو الگوریتم تقریبی کردند (Goossens et al., 2010).

$$C_{ijk} = d_{ij} + d_{jk} + d_{ik} \quad (۹-۲)$$

$$C_{ijk} = \max \{ d_{ij}, d_{jk}, d_{ik} \} \quad (۱۰-۲)$$

<sup>۱</sup> 3-Dimensional Bottleneck Assignment (3D-BA)



## ۴-۲- مرور ادبیات در حوزه جانمایی تجهیزات و تخصیص

تحلیل مسائل تصمیم‌گیری در خصوص جانمایی تسهیلات و تخصیص منابع به اعضا سیستم از زمان‌های قدیم وجود داشته است و هم اکنون نیز از مسائل بسیار مهم در تصمیم‌گیری دولت‌ها، سازمان‌ها و شرکت‌ها محسوب می‌شود.

در جدول ۲-۳ پژوهش‌های انجام شده در حوزه مکان‌یابی تجهیزات به طور خلاصه آورده شده است:

جدول ۲-۳- پژوهش‌های انجام شده در زمینه جانمایی و تخصیص

ردیف	عنوان	نویسندگان	سال انتشار
۱	ارائه روش تست کردن تمام تخصیص‌های ممکن	کوپر <sup>۱</sup>	۱۹۶۳
۲	یافتن ۶۱ نقطه بهینه محلی با به‌کاربردن تکرار الگوریتم تکراری کوپر در دفعات مختلف	ایلون <sup>۲</sup> و همکاران	۱۹۷۱
۳	ارائه الگوریتم تحدید و انشعاب که برای مسائل با ابعاد $n=25$ و $m=1-5$ جواب بهینه را بدست می‌آورد	کونن <sup>۳</sup> و سولاند <sup>۴</sup>	۱۹۷۲
۴	ارائه روش‌های ابتکاری مختلف با توجه به ساختار همسایگی	لاو <sup>۵</sup> و ژول <sup>۶</sup>	۱۹۸۲
۵	ارائه روش کاهش مجموعه و الگوریتم P-median برای حل مسأله جانمایی-تخصیص با فاصله‌ی پله‌ای برای مسائل با ابعاد $n=35$ و $m=2$	لاو و همکاران	۱۹۸۸
۶	اثبات روش تزریق <sup>۷</sup> برای حل مسأله چند منبعی وبر و همگرایی روش به سمت بهینه محلی	بونگارتز <sup>۸</sup> و کالامی <sup>۹</sup>	۱۹۹۴
۷	استفاده از الگوریتم جستجوی ممنوع در حل مسأله	بریمبرگ <sup>۱۰</sup> و ملادنویچ <sup>۱۱</sup>	۱۹۹۶
۸	بررسی مسائل برنامه‌ریزی خطی با جزئیات بیشتر	اوهلمیولر <sup>۱۲</sup>	۱۹۹۷
۹	ارائه یک فرآیند پیاده‌سازی سریعی از فرآیند جستجوی محلی، که به الگوریتم ابتکاری تبادل سریع شناخته شده است.	ویتاکر <sup>۱۳</sup>	۱۹۸۳
۱۰	استفاده از الگوریتم‌های جستجوی ممنوع، الگوریتم ژنتیک و جستجوی متغیر همسایگی برای حل مسأله و دستیابی به نتایج بهتر	بریمبرگ <sup>۱۴</sup> و همکاران	۲۰۰۰
۱۱	توسعه الگوریتم‌های ارائه شده توسط بریمبرگ و همکارانش و پیشنهاد یک روند سریع جستجوی محلی بر مبنای تعویض جفتی	رسند <sup>۱۵</sup> و ریناتو <sup>۱۶</sup>	۲۰۰۴

<sup>1</sup>- Cooper

<sup>3</sup>- Kuenne

<sup>5</sup>- Love

<sup>7</sup>- Projection Method

<sup>9</sup>- Calami

<sup>11</sup>- Mladenovic

<sup>13</sup>- Whitaker

<sup>15</sup>- Resende

<sup>2</sup>- Eilon

<sup>4</sup>- Solland

<sup>6</sup>- Juel

<sup>8</sup>- Bongartez

<sup>10</sup>- Brimberg

<sup>12</sup>- Ohlemuller

<sup>14</sup>- Brimberg

<sup>16</sup>- Renato

کوپر اولین بار، روش بررسی تمام نقاط و تخصیص‌های ممکن را بر اساس تکرارهای متناوب ارائه داد که به الگوریتم تکراری کوپر معروف شد. الگوریتم تکراری یا متناوب، الگوریتمی است که تعداد تکرارهای آن بیش از تعداد تکرار لازم برای رسیدن به جواب بهینه است (Cooper, 1963).

ایلون و همکاران، برای یک مسأله با  $m=5$ ،  $n=50$  و با توجه به ۲۰۰ جواب تصادفی اولیه، ۶۱ بهینه محلی را پیدا کردند که اختلاف بهترین و بدترین آن‌ها ۴۰/۹ درصد بوده است. در این مدل،  $m$  و  $n$  ابعاد مسئله است که بیانگر تعداد عرضه کننده و تقاضا کننده است. تکرار الگوریتم متناوب کوپر در دفعات مختلف به الگوریتم تکراری جانمایی و تخصیص مشهور است (Eilon et al., 1971).

لاو و ژول، روش‌های ابتکاری مختلفی را با توجه به ساختار همسایگی ارائه دادند. این ساختار همسایگی، همه نقاط اطراف یک جواب کنونی که نتیجه تعویض تعداد مشخصی از تخصیص مشتریان از یک خدمت‌دهنده به خدمت‌دهنده دیگر ناشی شده، را شامل می‌شود. پنج الگوریتم از این رویکرد گرفته شده است. سه الگوریتم اولی یعنی  $H_1$  تا  $H_3$  از تعویض تکی و الگوریتم‌های  $H_4$  و  $H_5$  از تعویض جفتی استفاده می‌کنند. این روش‌ها ابتدا با توجه به روش متناوب جانمایی-تخصیص<sup>۱</sup> بهینه‌های محلی را بدست می‌آورند. سپس هر کدام برای گذر از بهینه محلی، رویه‌ای مخصوص را پی می‌گیرند، زمانیکه از بهینه محلی گذشتند، مجدداً از روش، ALA استفاده کرده و بهینه محلی را بدست می‌آورند (Love & Juel, 1982).

بونگارتز و همکاران، روش تزریق را برای حل مسأله چند منبعی وبر به کار بردند و همگرایی روش را به سمت بهینه محلی ثابت کردند. آن‌ها الگوریتم خود را در دفعات متعدد اجرا کرده و جواب‌هایشان را با الگوریتم MALT مقایسه کرده و نشان دادند، این الگوریتم عملکرد بهتری از خود نشان خواهد داد (Bongartez, 1994).

<sup>۱</sup> - Alternate Location-Allocation (ALA)

بنابراین، با مرور پیشینه تحقیق مشخص شد که روش‌های زیادی در حل مسائل جانمایی-تخصیص مطرح شده‌اند. ابعاد مسائلی که توسط این الگوریتم‌ها قابل حل است، متغیر بوده و بسته به نوع الگوریتم‌ها متفاوت است. به طوریکه، الگوریتم‌های دقیق مسائل بهینه‌سازی کوچک و الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری مسائل بزرگ را حل می‌کنند و جواب‌های نزدیک به بهینه را به دست می‌آورند.

## ۲-۴- جمع‌بندی

بدون شک جانمایی صحیح تسهیلات اثرات بسیار زیادی در منافع اقتصادی، ارائه خدمات مناسب و رضایت مشتریان دارد و به همین دلیل تحلیل مسائل جانمایی یکی از مسائل مورد علاقه دانشمندان تحقیق در عملیات و علوم مدیریت بوده و پیشرفت‌های قابل توجهی نیز در این زمینه حاصل شده است. مسأله جانمایی-تخصیص یکی از مسائل جانمایی تسهیلات می‌باشد که در آن محل استقرار چند خدمت دهنده (تجهیزات جدید) برای تأمین تقاضای چند مشتری (تجهیزات موجود) و نحوه تخصیص مشتری‌ها به خدمت‌دهندگان باید تعیین شود.

کاهش دادن هزینه‌های حمل و نقل که در برآورد بیشتر محققان بیش از نیمی از هزینه‌های معدن‌کاری را شامل می‌شود، یک نیاز اصلی و قابل توجه برای مدیریت هزینه‌های استخراج معادن به حساب می‌آید که باید در تمامی عمر معدن در نظر گرفته شود. در این فصل، روش‌های مختلف بهینه‌سازی برای کاهش هزینه‌های ترابری، تخصیص و جانمایی که توسط دانشمندان مختلف مطرح شده بود، ارائه شد. در پژوهش‌های حوزه بهینه‌سازی سیستم‌های حمل و نقل همه محققان از دو سطح برای تخصیص استفاده کردند (سطح اول مبدأ اولیه و سطح دوم مقصد اولیه).

در سری تحقیقات انجام شده برای جانمایی دستگاه‌ها به روش‌های تحقیق در عملیات و ابتکاری، محققان روش‌های مختلفی را ارائه دادند، که از تخصیص‌های چند بعدی در زمینه‌های علوم اجتماعی نیز بهره بردند که نتایج مناسبی بدست آوردند.

برای دستیابی به یک روش که بتوان با استفاده از آن در هر معدن جانمایی تجهیزات و پیرو آن سیستم ترابری را بهینه‌سازی کرد و با کمترین هزینه حمل بار را انجام داد، لازم است از روش‌های بهینه شده در علوم دیگر استفاده کرد. برای این منظور باید تمامی شرایط و محدودیت‌های مؤثر بر جانمایی و سیستم ترابری بهینه شناسایی شود و از تجربیات دیگر پژوهشگران که در زمینه‌های دیگر نتایج مطلوبی دست یافته‌اند، استفاده کرد و با ایجاد تغییرات در محدودیت‌های مدل و نگرش ترکیبی از روش‌های به کار گرفته شده، در تکمیل روش‌های بهینه‌سازی حمل و نقل گام برداشت.

فصل سوم:

تحقیق در عملیات و الگوریتم‌ها

### ۳-۱- مقدمه

پیچیدگی محیط سازمان‌ها باعث شده است که مدیران نتوانند به آسانی تصمیم‌گیری کنند، مدیران برای رسیدن به هدفی مشخص با محدودیت‌های بسیاری چون منابع، انرژی، نیروی انسانی، مواد و پول مواجه‌اند. با افزایش عوامل و فاکتورهای تصمیم‌گیری و با تنوع محدودیت‌های نیل به هدف، مدیر ناچار است که از روش‌های کمی برای برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری استفاده کند. یکی از این روش‌ها برای بهینه کردن با توجه به محدودیت‌های گوناگون، استفاده از تحقیق در عملیات است (آذر، ۱۳۸۵).

تحقیق در عملیات عبارت است از کاربرد روش‌های علمی در مسائل پیچیده پدید آمده برای هدایت و مدیریت دستگاه‌های بزرگ. تحقیق در عملیات تلاش دارد که تضاد منابع بخش‌های مختلف یک سازمان را به گونه‌ای حل کند که بهترین نتیجه را برای کل سازمان داشته باشد؛ لذا اهداف مسأله با اهداف کلی سازمان هم جهت است (عطائی، ۱۳۹۳).

در این فصل ابتدا، به معرفی بیشتر علم تحقیق در عملیات، انواع آن و روش‌های حل مسائل آن پرداخته شده است. سپس الگوریتم‌هایی که در روند حل این نوع مسائل، پرکاربرد و کمک‌کننده هستند، معرفی شده‌اند.

### ۲-۳-۲- انواع مدل سازی در حل مسائل تحقیق در عملیات

بیان سیستم‌ها یا مسائل به وسیله‌ی مدل‌ها به طرق مختلفی انجام می‌پذیرد و اغلب از سه نوع مدل در نظام‌های علمی استفاده می‌شود که به شرح زیر می‌باشند (عطائی، ۱۳۹۳):

#### ۳-۲-۱- مدل شمایی<sup>۱</sup>

این مدل‌ها، مدل‌های متداولی هستند که جهان واقعی را در مقیاسی کوچکتر نشان می‌دهند. ماکت‌های سه‌بعدی از هواپیماها، اتومبیل‌ها و یا مدل‌هایی از خط تولید کارخانه‌ها نمونه‌هایی از این دسته از مدل‌ها هستند.

#### ۳-۲-۲- مدل قیاسی<sup>۲</sup>

این نوع مدل عیناً مانند سیستم اصلی نیست ولی رفتاری مشابه آن دارد. مثلاً ممکن است برای بیان ترافیک در خیابان‌های شهر از جریان الکترون‌ها در سیم و مدار الکتریکی استفاده شود. چارت‌های سازمانی نمونه‌های دیگری از این مدل‌ها هستند که نشان دهنده‌ی ساختار، روابط، مسئولیت‌ها و مسیرهای نظارت است.

#### ۳-۲-۳- مدل‌های ریاضی<sup>۳</sup> یا سمبولیک<sup>۴</sup>

پیچیدگی روابط در بعضی سیستم‌ها باعث می‌شود نتوان آن‌ها را به صورت دو مدل فوق تبدیل و حل کرد. از این رو ساده‌سازی بیشتر در مورد این سیستم‌ها را با روابط ریاضی می‌توان انجام داد.

از جمله دلایل دیگری که می‌توان برای استفاده از مدل‌های ریاضی بیان کرد، می‌توان به موارد

زیر اشاره کرد (عطائی، ۱۳۹۳):

<sup>1</sup>- Iconic models

<sup>2</sup>- Analog models

<sup>3</sup>- Mathematic models

<sup>4</sup>- Symbolic models

- الف) با مدل‌های ریاضی می‌توان موقعیت‌های خیلی پیچیده را تعریف و تعیین کرد.
- ب) تغییر در عناصر مدل در مدل‌های ریاضی بسیار آسان‌تر از دست‌کاری کردن سیستم است.
- ج) هزینه آزمون و خطا در مدل ریاضی خیلی ساده‌تر از مدل واقعی است.
- د) با توجه به عدم قطعیت محیط سیستم، مدیران به کمک مدل ریاضی می‌توانند به راحتی میزان ریسک عملیات خود را حساب کنند.
- ه) مدل‌ها زمینه آموزش و یادگیری را فراهم می‌کنند.
- مدل‌های ریاضی در تحقیق در عملیات به سه دسته‌ی زیر تقسیم می‌شوند (عطائی، ۱۳۹۳):
- ۱- مدل‌های قطعی<sup>۱</sup>: به مدل‌هایی گفته می‌شوند که در شرایط اطمینان کامل ساخته می‌شوند و به طور قطع و یقین رخ می‌دهند. این مدل‌ها به دو نوع خطی و غیر خطی تقسیم می‌شوند.
  - ۲- مدل‌های احتمالی<sup>۲</sup>: این مدل‌ها در شرایط نامعین و تصادفی رخ می‌دهند و پارامترها و ارزش مقادیر به صورت تصادفی رخ می‌دهند و تابع یک تابع احتمال خاص هستند.
  - ۳- مدل‌های ترکیبی: این دسته از مدل‌های تحقیق در عملیاتی هم از شرایط قطعی و هم از شرایط احتمالی به صورت ترکیبی استفاده می‌شود.
- در شکل ۳-۱ طبقه بندی مدل‌های ریاضی در تحقیق در عملیات ارائه شده است.

### ۳-۳- ضرورت استفاده از تحقیق در عملیات

در حالی که مطالعات نسبتاً کمی در بخش میزان توسعه و موفقیت فنون تحقیق در عملیات شده است، شواهد نشان می‌دهد که استفاده از این فنون با نتایج جالبی همراه بوده است. پس از بررسی انجمن مدیریت امریکا از مجموع ۳۲۴ شرکتی که از این فنون استفاده کرده‌اند، ۱۳۰ شرکت اعلام بهبود قابل توجهی در عملیات کرده‌اند. ۱۷ شرکت گزارش داده‌اند که در اثر استفاده از این فنون

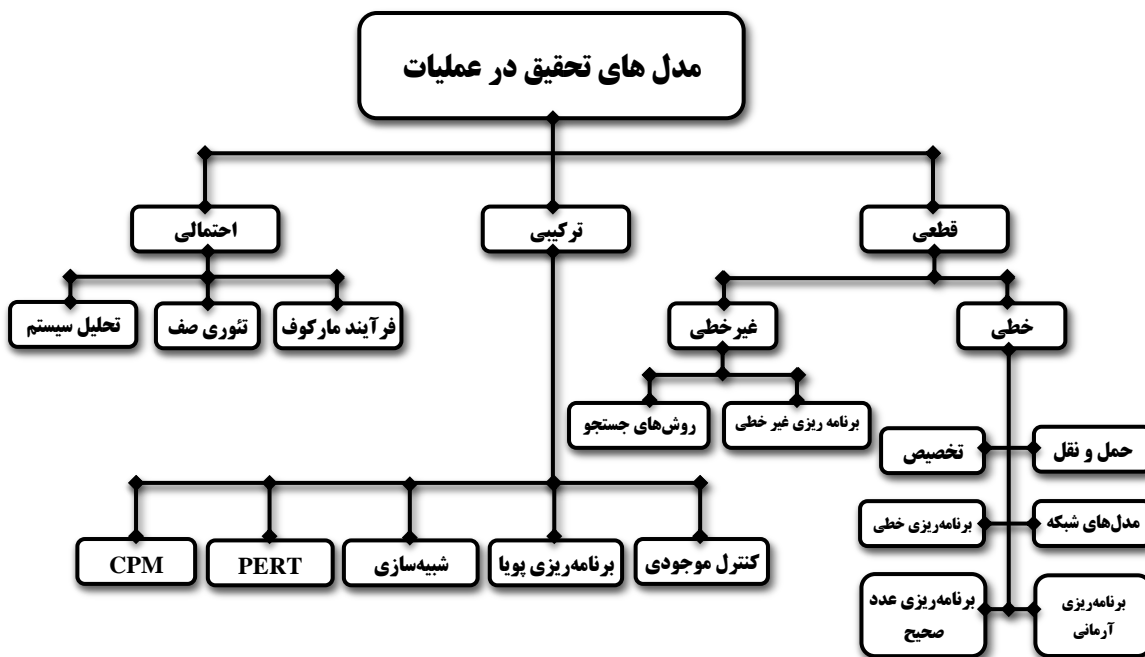
<sup>۱</sup>- Deterministic

<sup>۲</sup>- Probabilistic



بیش از ۱۰۰ هزار دلار و ۱۸ شرکت بیش از ۳۰۰ هزار دلار صرفه‌جویی داشته‌اند. اگرچه بسیاری از آنان تمایل بیشتری به استفاده از فنون تحقیق در عملیات پس از اولین استفاده، نشان داده‌اند، تنها ۲ شرکت از ۳۲۴ شرکت اظهار داشته‌اند که تمایل آن‌ها به استفاده از این فنون کاهش پیدا کرده است (آذر، ۱۳۸۵).

لذا، با توجه به پیشرفت مدل‌سازی و موفقیت فنون تحقیق در عملیات در سال‌های اخیر کاربرد آن در مقایسه با آمار ذکر شده، گسترش بیشتری داشته است و زمینه‌های بیشتری را تحت پوشش قرار داده است.



شکل ۳-۱- انواع مدل‌های تحقیق در عملیات (عطائی، ۱۳۹۳)

تحقیقات دیگری نشان می‌دهد که میزان منافع حاصل از فنون تحقیق در عملیات در مؤسسات رو به رشد است و فراوانی استفاده از این فنون صعودی است. در هر حال وسعت استفاده از این فنون با توجه به نوع کاربرد آن متفاوت است که در زمینه تولید و برنامه‌ریزی بلند مدت بوده بیشترین کاربرد را داشته است. بررسی‌های انجام شده از تحقیقات در این زمینه نشان می‌دهد که میزان

استفاده از مدل‌های تحقیق در عملیات با توجه به پیچیدگی ریاضی مدل و حجم داده‌های مورد استفاده در مدل متفاوت است. در این بررسی فراوانی استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی خطی بیشتر از سایر مدل‌ها بوده است. فراوانی استفاده از این مدل‌ها در جدول ۳-۱ آورده شده است (آذر، ۱۳۸۵):

جدول ۳-۱ - فراوانی استفاده از مدل‌های تحقیق در عملیات (برگرفته از آذر، ۱۳۸۵ و مهرگان، ۱۳۷۸)

نام مدل	فراوانی	نام مدل	فراوانی
برنامه‌ریزی خطی	بسیار زیاد	شبیه‌سازی	زیاد
برنامه‌ریزی عدد صحیح	بسیار زیاد	برنامه‌ریزی پویا	کم
برنامه‌ریزی آرمانی	بسیار زیاد	نظریه صف	کم
حمل و نقل و تخصیص	زیاد	فرآیندهای مارکوفی	کم
کنترل موجودی	زیاد	تحلیل تصمیم	بسیار زیاد
مدل‌های شبکه	زیاد	برنامه‌ریزی غیرخطی	کم
PERT-CPM	زیاد	روش‌های جستجو	کم
برنامه‌ریزی تولید و موجودی‌ها	زیاد	مدل‌های پیش‌بینی	زیاد

به دلیل اهمیت تحقیق در عملیات و به منظور فعالیت در این زمینه انجمن‌های متعددی در کشورهای مختلف تشکیل شده‌اند. در سال ۱۹۵۲ انجمن تحقیق در عملیات آمریکا پایه‌گذاری شد و پس از آن مؤسسه علوم مدیریت در سال ۱۹۵۳ تأسیس شد (آذر، ۱۳۸۵).

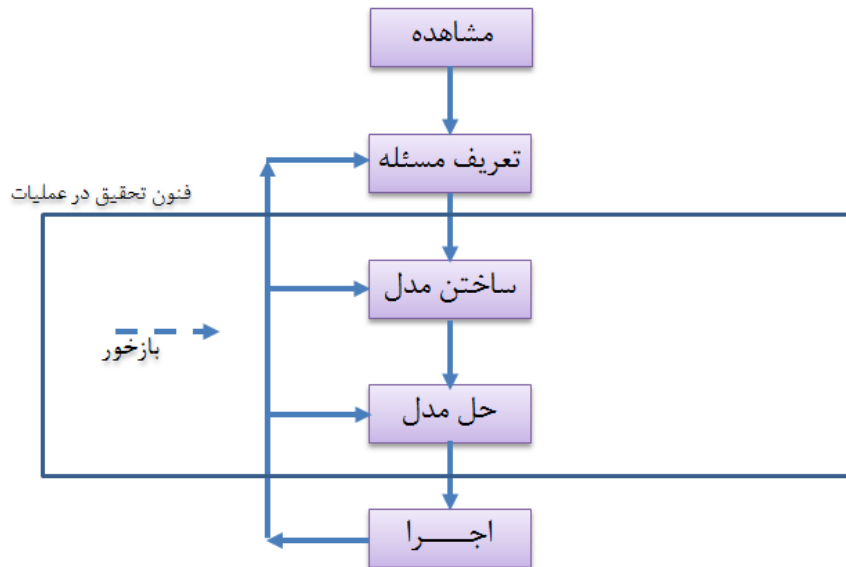
### ۳-۴- کاربرد تحقیق در عملیات

از کاربردهای تحقیق در عملیات می‌توان به استفاده در زمینه‌های مختلف اقتصاد، تجارت، صنعت و دولت اشاره کرد. در صنایع مختلف از جمله صنایع هواپیمایی، موشک‌سازی و... برای حل مسائل مختلفی از جمله برنامه‌ریزی تولید<sup>۱</sup>، زمان‌بندی، کنترل موجودی، تبلیغات، تعیین محل، حمل و نقل، تخصیص منابع، مسیریابی، انتخاب پروژه، تعیین روش سرمایه‌گذاری، کنترل کیفیت و... از تحقیق در عملیات استفاده شده است (عطائی، ۱۳۹۳).

<sup>۱</sup>- Production Planning

### ۳-۵- رویکرد تحقیق در عملیات برای حل مسأله

ویژگی اصلی تحقیق در عملیات و فنون آن تأکید بر رویکرد سیستماتیک و منطقی در حل مسأله است. به همین دلیل آن را در قالب روش علمی معرفی می‌کنند. این رویکرد همانطور که در شکل ۳-۲ نشان داده شده است، دارای پنج مرحله است که به تفصیل بیان خواهد شد (آذر، ۱۳۸۵):



شکل ۳-۲- فرآیند حل مسأله در تحقیق در عملیات (آذر، ۱۳۸۵)

### ۳-۵-۱- مشاهده

اولین گام در فرآیند تحقیق در عملیات مشاهده و تعریف مسأله‌ای است که در سیستم یا سازمان وجود دارد. هر سیستم همیشه در معرض مشکلات و مسائلی است که مانع رسیدن آن به اهداف خود می‌شود. مدیر باید خود یا متخصصان خود را به مشاهده عوامل سازمان و روابط در تعامل پردازد تا بتواند به آسیب شناسی سازمانی و تعریف مسأله دست یابد. افرادی به عنوان مشاور می‌توانند مسائل را از بیرون بررسی کنند و آن دسته از مسائل را که از نظر افراد داخل سازمان جزء جدایی ناپذیر عملیات محسوب می‌شود را شناسایی کنند.

**۳-۵-۲- تعریف مسأله**

پس از مشخص شدن وجود مسأله در سازمان باید آن را با دقت و به وضوح تعریف کرد. تعریف نادرست و نامناسب از مسأله ممکن است موجب ساده‌انگاری آن شود و در پایان جواب نامناسبی برای آن در نظر گرفته شود. لذا دقت مسأله و درجه‌ای که مسأله می‌تواند بر عملکرد واحدهای سازمانی مؤثر باشد، از ملزومات تعریف مسأله است. از آنجا که این مسأله موجب به هدف نرسیدن سازمان خواهد شد، پس تعریف روش دستیابی به اهداف و آرمان‌های سازمانی ضروری است.

**۳-۵-۳- ساختن مدل**

مدل در تحقیق در عملیات بیان خلاصه‌ای از مسأله‌ای در دنیای واقعی و سازمانی است. مدل می‌تواند در قالب یک شکل یا نمودار بیان شود، اما در بیشتر اوقات در تحقیق در عملیات از اعداد و نمادها ساخته می‌شوند. مدل‌ها از متغیرهای وابسته، متغیرهای مستقل و پارامترها تشکیل شده‌اند. همانطور که از نام آن مشخص است، متغیرها قابل تغییر هستند و هیچ عدد مشخصی برای آن‌ها در نظر گرفته نشده است. پارامترها نیز مقادیر ثابتی‌اند که معمولاً ضریب متغیرها در یک معادله‌اند و مقدار آن‌ها از داده‌های حاصل از محیط به دست می‌آیند. معادله تشکیل شده از این سه بخش را می‌توان مدل نامید.

**۳-۵-۴- حل مدل**

مسأله فرموله شده در قالب یک مدل تحقیق در عملیات باید بر اساس فنون به کار رفته در تحقیق در عملیات حل شود. هریک از این فنون مختص حل یک مدل ویژه خواهد بود. بنابراین، نوع مدل و فن حل مدل دو بخش مجزا در تحقیق در عملیات هستند. با توجه به اینکه مدل بیانگر مسأله است، پس حل آن به معنی حل مسأله مورد نظر خواهد بود.

### ۳-۵-۵- اجرای نتایج

فنون حل مسأله در تحقیق در عملیات فراهم کننده اطلاعاتی اند که تصمیم گیرنده را در تصمیم گیری بهتر یاری می دهند. البته به کار بردن نتایج حاصل از حل مدل بدون تفکر و تعمق مدیریتی کامل نخواهد بود. در تصمیم گیری نهایی مدیر باید اطلاعات حاصل از حل مدل و تجربیات خود و مشاوران را با هم ترکیب کند. زیرا مطالعه علمی تا زمانی که اجرا نشود ارزش ناچیزی دارد. ارزش واقعی فرآیند مطالعه علمی به تأثیر آن بر عملکرد سیستم مورد مطالعه خواهد بود.

### ۳-۵-۶- تکرار پذیر بودن فرآیند تحقیق در عملیات

تکمیل مراحل پنجگانه ذکر شده، ضرورتاً به معنای کامل بودن فرآیند نیست؛ چرا که ممکن است در هر مرحله از ساخت مدل، حل و اجرا ضرورت بازنگری بوجود آید. ممکن است در هر مرحله از ساختن مدل، یک بعد جدید از مسأله روشن شود و یا اینکه در هر مرحله نیاز به تغییر ساختار مدل و یا تعریف مسأله بوجود آید. بنابراین، در هر مرحله نیاز به بازخورد ضرورت می یابد. همچنین اطلاعات جدید به دست آمده از محیط و آینده سازمان ممکن است تمام ساختار مسأله را تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین با سپری شدن زمان، فرآیند تحقیق در عملیات تکرار می شود و همواره باید مدل را بازنگری و بازسازی کرد.

### ۳-۶- الگوریتمها و حل کننده های کمکی

در روند حل مسائل گاهی استفاده از الگوریتمهای جانبی برای حل بخشی از مسائل ضروری است.

۳-۶-۱- الگوریتم دایجسترا<sup>۱</sup>

یکی از الگوریتم‌های پرکاربرد در مسائل کمینه‌سازی شبکه‌ها، الگوریتم‌های یافتن کمترین هزینه روی یال‌های شبکه است.

الگوریتم دایجسترا یکی از الگوریتم‌های پیمایش گراف است که توسط دانشمند هلندی علوم رایانه، دیکسترا (دایجسترا) در سال ۱۹۵۹ برای حل دو مسأله تئوری گراف بنیادین، مسأله وزن درخت پوشا کمینه<sup>۲</sup> و مسأله کوتاه‌ترین مسیر<sup>۳</sup> ارائه شد. الگوریتم دایجسترا برای مسأله کوتاه‌ترین مسیر یکی از بهترین الگوریتم‌ها در علوم رایانه و الگوریتم بسیار محبوبی در روش‌های تحقیق در عملیات است (Reddy, 2013).

این الگوریتم یک رویکرد حریصانه است که در تکرارهای متوالی کوتاه‌ترین مسیر بین دو گره را مشخص می‌کند. پس از مشخص شدن وزن تمام مسیرها (که در اینجا طول مسیرها در نظر گرفته شده است) در یک مجموعه  $V$  هر مسیری از نقطه ابتدایی  $i$  به نقطه انتهایی  $j$  که  $i$  و  $j$  عضو مجموعه  $V$  باشند، کوتاه‌ترین مسیر از انتها به ابتدا محاسبه شده است. کاربردهای این الگوریتم سیستم اطلاعات ترافیک، نقشه پیمایی و سیستم مسیریابی است (Reddy, 2013).

روند انتخاب کوتاه‌ترین به روش الگوریتم دایجسترا به شرح زیر است:

(۱) رأس مبدأ انتخاب می‌شود.

(۲) مجموعه‌ی تهی  $V$ ، شامل رئوس گراف تعیین می‌شود.

(۳) رأس مبدأ با اندیس صفر در مجموعه  $V$  وارد می‌شود.

<sup>۱</sup> - Dijkstra

<sup>۲</sup> - Minimum Weight Spanning Tree

<sup>۳</sup> - Shortest Path

(۴) برای رئوس خارج از  $V$ ، اندیس طول یال با اندیس رأس قبلی جمع شده و اگر رأس خارج دارای اندیس باشد، اندیس جدید کمترین مقدار از بین اندیس قبلی و مجموع طول یال با اندیس رأس قبل انتخاب می‌شود.

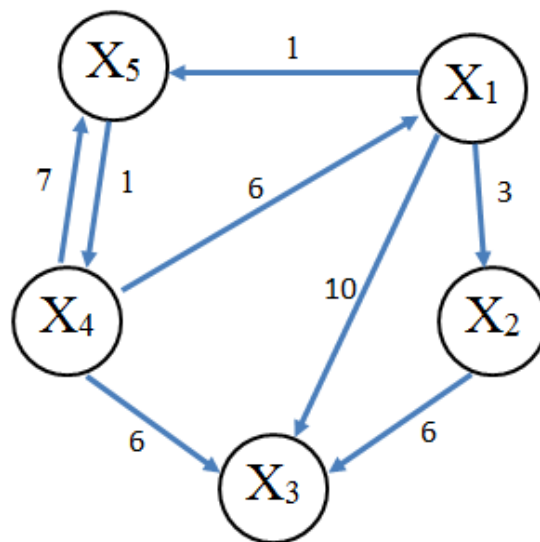
(۵) از میان رئوس خارج کمترین اندیس انتخاب و به مجموعه  $V$  اضافه می‌شود.

(۶) روند از مرحله ۴ تکرار می‌شود تا رأس مقصد وارد مجموعه  $V$  شود.

(۷) پایان

به عنوان مثال، در گراف شکل ۳-۳ اگر  $X_1$  رأس مبدأ و  $X_3$  رأس مقصد باشد، مسیرهای متفاوتی

برای عبور وجود دارد که الگوریتم به دنبال کوتاه‌ترین مسیر است.



شکل ۳-۳- گراف فرضی برای حل الگوریتم دایجسترا

روند انتخاب کوتاه‌ترین مسیر در جدول ۳-۲ آورده شده است:

جدول ۳-۲- مراحل انتخاب رئوس در الگوریتم دایجسترا

مرحله	مجموعه قابل انتخاب	مجموعه $V$
اول	$\min \{ X_5=1, X_3=10, X_2=3 \}$	$\{ X_1, X_5 \}$
دوم	$\min \{ X_5+X_4=2, X_3=10, X_2=3 \}$	$\{ X_1, X_5, X_4 \}$
سوم	$\min \{ X_5+X_4+X_3=8, X_3=10, X_2+X_3=9 \}$	$\{ X_1, X_5, X_4, X_3 \}$

در مرحله اول پس از مقایسه طول مسیر تا اولین رأس ممکن، یعنی رئوس  $X_2$  و  $X_3$  و  $X_5$  کمترین مقدار یعنی  $X_5=1$  انتخاب می‌شود و به مجموعه  $V$  اضافه می‌شود. در محله دوم، کمترین فاصله بین گزینه‌های موجود انتخاب شده و رأسی که کوتاه‌ترین مسیر را دارد به مجموعه  $V$  اضافه می‌شود. همین روند در مراحل بعدی تکرار شده و فاصله رئوس با یکدیگر مقایسه می‌شوند و کمترین مقدار آن‌ها انتخاب می‌شود.

### ۳-۶-۲- حل‌کننده CPLEX

CPLEX در حقیقت یک موتور حلال<sup>۱</sup> است که قابلیت اتصال به اکثر محیط‌های برنامه‌نویسی و بهینه‌سازی مدل‌های ریاضی را دارد. این نرم‌افزار توسط بی‌کس‌بای<sup>۲</sup> توسعه یافت و از طریق شرکت ILOG در سال ۱۹۹۷ به فروش گسترده دست یافت (سعیدی، ۱۳۸۵).

هر چند شرکت ILOG یک محیط ساده برای ویرایش و توسعه‌ی مدل‌ها در برنامه قرار داده است ولی اکثر کاربران حرفه‌ای ترجیح می‌دهند تا از قابلیت‌های اتصال آن بهره بگیرند. با قابلیت‌هایی که شرکت ILOG در این بسته در نظر گرفته است مانند بسته‌ی CONCERN، می‌توان نتایج محاسباتی خود را از زبان‌های برنامه‌نویسی رایج به CPLEX هدایت و پس از محاسبه‌ی جواب، مجدداً به محیط برنامه نویسی بازگشت (سعیدی، ۱۳۸۵).

یکی از توانایی‌های مهم این سیستم، امکان کار به دو صورت سایتیشن<sup>۳</sup> و خود ایستایی<sup>۴</sup> است که به کارگیری نوع اول آن باعث افزایش کارایی بسته در محیط‌های صنعتی و آموزشی می‌شود. از مهم‌ترین مشخصات CPLEX سرعت بالای حل مدل‌های با متغیر و محدودیت زیاد می‌باشد. این

<sup>۱</sup>- Solver

<sup>۲</sup>- Bixby

<sup>۳</sup>- Sitation

<sup>۴</sup>- Stand Alone



قابلیت به‌حدی است که این برنامه را از سایر برنامه‌های مشابه تولید شده در شرکت‌های دیگر متمایز می‌سازد (سعیدی، ۱۳۸۵).

شرکت ILOG جزء اولین شرکت‌هایی بوده است که برنامه‌ی حل‌کننده خود را برای پردازنده‌های ۶۴ بیتی ارائه کرد. شرکت ILOG بزرگترین کتابخانه مدل‌سازی‌های ریاضی را در جهان در اختیار دارد (ILOG, 2008). این موضوع برنامه را بیشتر به یک حل‌کننده صنعتی تبدیل کرده تا یک حل‌کننده آموزشی و تحقیقاتی، به همین علت قیمت این بسته نرم‌افزاری بسیار بالاست. امروزه بیش از ۱۰۰۰ شرکت و آژانس دولتی و غیردولتی در بیش از ۱۰۰۰ دانشگاه با CPLEX در حال فعالیت هستند. CPLEX مسائل با محدودیت‌های غیرخطی را هم حل می‌کند که این یک مزیت خاص برای این بسته نرم‌افزار است (ILOG, 2008).

### ۳-۶-۲-۱- روش‌های به‌کاربردن CPLEX

برنامه‌ریزی خطی (شامل عدد صحیح و برنامه‌ریزی خطی شبکه‌ای) و برنامه‌ریزی درجه دوم محدب اساس CPLEX سیستم پایه بهینه‌ساز خطی CPLEX است. این سیستم برنامه‌های خطی را با استفاده از الگوریتم‌های سیمپلکس قوی، سیمپلکس اولیه، سیمپلکس ثانویه و سیمپلکس شبکه‌ای حل می‌کند (ILOG, 2008).

گزینه‌های ممکن با سیستم پایه شامل موارد زیر می‌شود (سعیدی، ۱۳۸۵):

#### الف) گزینه کتابخانه قابل فراخوانی<sup>۱</sup>

امکانات سیستم پایه به عنوان یک کتابخانه که به کاربر اجازه می‌دهد حل‌کننده‌های مسأله را به درخواست‌هایشان اختصاص دهند. قابل دسترسی در Fortran، C و C++ است.

<sup>۱</sup>- The Callable Library Option

### ب) حل کننده عدد صحیح مخلوط<sup>۱</sup>

یک قابلیت برای کنترل کردن متغیرهای عدد صحیح (صفر و یک و عمومی) اضافه می‌کند و دارای یک سیستم پیش پردازنده عدد صحیح مخلوط در آن است.

### ج) سد شکن<sup>۲</sup>

یک الگوریتم نقاط داخلی ثانویه است که شامل گذر کننده سریع برای راه حل‌های پایه دارد، همچنین این حل کننده برنامه‌های درجه دوم محدب را پوشش می‌دهد. در دو نوع کد خطی و عدد صحیح می‌تواند مسائل ساختار شبکه‌ای با محدودیت‌های یک طرفه نامحدود را حل کنند. سد شکن شامل یک الگوریتم گذر کننده برای تبدیل کردن راه حل‌های طولانی به راه حل‌های پایه‌ای بالا می‌باشد.

### ۳-۶-۲-۲- مقایسه CPLEX با حل کننده‌های مشابه

یکی از موضوعاتی که اغلب مورد توجه محققین علم تحقیق در عملیات است، مقایسه توانایی‌های حل کننده‌های موجود است. مجموعه برنامه‌های موجود در زمینه‌ی مدل‌سازی به دو دسته تقسیم می‌شوند (سعیدی، ۱۳۸۵):

الف) دسته‌ای از این برنامه‌ها حل کننده هستند. این‌ها به نوعی از یک قالب برنامه نویسی منحصر به فرد بهره گرفته و مدل ریاضی داده شده را حل می‌کنند.

ب) بسیاری از حل کننده‌ها به تنهایی قابل استفاده نیستند و نیازمند یک محیط توسعه مدل می‌باشند. برخی از این برنامه‌ها در حقیقت یک بهینه‌سازی محیطی هستند. این برنامه‌ها حاوی یک محیط توسعه می‌باشند که با مجموعه‌ای از حل کننده‌ها در تعامل هستند.

<sup>۱</sup>- Mixed Integer Solver

<sup>۲</sup>- Barrier Solver

مجموعه‌های مثل GAMS، LINGO و Visual Studio عمدتاً محیط توسعه به حساب می‌آیند و از مجموعه‌ای از حل‌کننده‌ها در درون خود بهره می‌برند. برای بررسی و مقایسه این نرم افزارها از فنون متفاوتی استفاده می‌شود. اما نکته‌ای که در همه‌ی آن‌ها مشترک است، بهره‌گیری از یکسری مدل با شرایط مناسب است. این مدل‌ها باید به نحوی باشند که بتوان آن‌ها را در همه‌ی حلال‌های مورد مطالعه پیاده‌سازی کرد (سعیدی، ۱۳۸۵).

یکی از معیارها جهت مقایسه‌ی سرعت عملکرد، برنامه تحلیل فنون حل مدل به روش جستجو کلی<sup>۱</sup> است. در روش جستجو کلی تمامی نقاط در منطقه‌ی موجه در تابع هدف بررسی می‌شوند. در حالت بعدی برنامه‌ها در حل مدل به روش‌های پیوسته مقایسه می‌شوند. در مدل‌های پیوسته لزومی به بررسی تمام نقاط منطقه موجه نیست. تنها نقاط خاصی بررسی می‌شوند. برای تعیین این نقاط، روش‌های ریاضی وجود دارد. مثل سیمپلکس، انشعاب و تحدید (سعیدی، ۱۳۸۵).

هریک از این حل‌کننده‌ها در برخی از مدل‌ها و روش‌ها دچار ضعف و قوت هستند. مدل‌های مورد بررسی در جدول ۳-۳ آورده شده است که توسط سایت رسمی شرکت GAMS ارائه شده که توانایی‌های برخی از حل‌کننده‌ها در آن آورده شده است (GAMS, 2015):

جدول ۳-۳- مقایسه توانایی حل برخی از حل‌کننده‌ها توسط شرکت GAMS

برنامه عدد صحیح مختلط درجه دوم محدود	برنامه درجه دوم محدود	برنامه ریزی غیر خطی	برنامه ریزی عدد صحیح مختلط	برنامه ریزی خطی
CPLEX 12.0	*	*	*	*
BDMLP	*	*	*	*
COIN	*	*	*	*
BARON 7.7	*	*	*	*
DECIS	*	*	*	*
XPRESS	*	*	*	*

<sup>1</sup>- Complete Search

CPLEX مسائل عدد صحیح و خطی را در فرمت‌های مختلف مانند فرمت CPLEX LP می‌خواند که از فرمت‌های مدل‌سازی است.

### ۳-۶-۲-۳- مزایای CPLEX

اجزاء CPLEX برای حل مسائل بزرگ و سخت طراحی شده‌اند که دیگر حل‌کننده‌های برنامه‌ریزی خطی نمی‌توانند به حل مسأله بپردازند. الگوریتم‌های CPLEX به طور استثنایی سریع و نیرومند هستند که این موضوع یک اطمینان استثنایی را حتی برای مسائل از نظر عددی سخت یا ضعیف مدل‌سازی شده، فراهم می‌کند (ILOG, 2008).

زمینه‌های ویژه درخواست CPLEX شامل مدل‌های بزرگ در پالایش، تولید، عملیات بانکی، امور مالی، حمل و نقل، الوارسازی، وزارت دفاع انرژی و ارتش می‌شود. CPLEX همچنین در تحقیق‌های دانشگاهی دنیا بسیار مورد استفاده قرار گرفته است (سعیدی، ۱۳۸۵).

### ۳-۷- جمع‌بندی

تصمیم‌گیری در محیط‌های سازمانی و مدیریت شبکه‌های مختلف، به علت مشکلات و پیچیدگی‌هایی که دارد نیاز به محاسبات کمی دارد. تحقیق در عملیات به‌عنوان نگرش سیستمی که دارد، تا حد زیادی در این مهم می‌تواند نیازهای مدیر را برطرف کند.

مدل‌سازی‌های مختلفی در روش‌های تحقیق در عملیات وجود دارد که از میان آن‌ها مدل‌های ریاضی به دلیل تغییر آسان در متغیرها، قابلیت تعیین ریسک و توان حل مسائل پیچیده پر کاربرد تر هستند. مطالعات نشان داده است که برنامه‌ریزی خطی در زمینه‌های مختلف در بین روش‌های ریاضی بیشترین کاربرد را داشته است.

برای حل مسائل بهینه‌سازی در روش‌های تحقیق در عملیات، الگوریتم‌ها و بسته‌های نرم‌افزاری حل‌کننده بسیاری به مدیران و برنامه‌نویسان معرفی شده است که توان رقابت با الگوریتم‌های فراابتکاری را به این روش اضافه کرده است.

حل کننده CPLEX برای دقت و سرعت بالا برای پیدا کردن جواب بهینه و قابلیت‌های فراوان آن در حل مسائل مختلف مورد توجه محققان قرار گرفته است. یکی از مزیت‌های آن گزینه کتابخانه قابل فراخوانی آن است که در محیط‌های توسعه مختلف قابل استفاده است.

الگوریتم دایجسترا به دلیل دقت بالا و یافتن بهترین جواب برای کم‌ترین وزن یال‌ها در یک مسیر مشخص توسط محققان زیادی به کار برده شده است و به دلیل سادگی در بخش الگوریتم‌های محبوب محققان قرار گرفته است.



## فصل چهارم:

معادن پلاسیری سنگ آهن سنگان

#### ۴-۱- مقدمه

وجود ذخایر پلاستی قابل توجه سنگ آهن در شهرستان خواف و در مجاورت شهر سنگان و در پایین دست ذخیره بزرگ سنگ آهن سنگان، ارائه راه کارهای مناسب جهت بهره‌برداری صحیح و اصولی از این معادن را اجتناب ناپذیر می‌کند. عدم وجود تجربه کافی در کشور برای استخراج از این نوع ذخایر و استخراج غیر فنی از ذخایر پلاستی سنگ آهن سنگان در چند سال گذشته لزوم ارائه الگوهای بهینه برای استخراج این ذخایر را دو چندان کرده است.

افزایش قیمت سنگ آهن در سال‌های گذشته باعث شد بهره‌برداری از ذخایر پلاستی سنگ آهن در سنگان شدت غیر قابل تصویری به خود بگیرد. تقاضای بالا، قیمت بالای فروش و در نتیجه سود قابل توجه و از طرفی سهولت بهره‌برداری ذخایر سطحی پلاستی باعث شد در کوتاه مدت و بدون نیاز به زمان زیاد برای آماده‌سازی، ظرفیت تولید در این معادن چنان افزایش یابد که برای بهره‌برداران معادن پلاستی نیز غیر قابل باور بود.

در این فصل، به آشنایی مختصری از روش‌های استخراج معادن پلاستی و اهمیت پلاسترها پرداخته شده است. پس از آن، معادن پلاستی سنگان معرفی شده‌اند و مشکلات آن‌ها در روش‌های



استخراج در منطقه بیان شده است. سپس سیستم و اجزاء سیستم در حال فعالیت معرفی شده و معدن امیرسنگان پارسیان، مورد بررسی دقیق تر قرار گرفته است. با توجه به گستردگی مطالب، در این فصل سعی بر آن شده است که از پرداختن به جزئیات غیرضروری پرهیز شود. لذا تنها به مفاهیم مقدماتی و ضروری پلاسترها و معادن پلاستیکی پرداخته خواهد شد.

## ۲-۴- معادن پلاستیکی و روش‌های متداول استخراج معادن

### ۱-۲-۴- تعریف پلاسترها

پلاستر یک اصطلاح اسپانیایی است که در ابتدا به مکانی اطلاق شده است که در آن مکان بتوان طلا را از شن بازیابی کرد (Yukon Government, 2005). اما اکنون اصطلاح نهشته پلاستر برای نهشته‌های ماسه، شن و دیگر مواد آواری یا باقیمانده که حاوی کانی یا کانی‌های با ارزشی هستند که از طریق هوازگی و فرآیندهای غنی‌شدگی مکانیکی گردآوری شده‌اند به کار گرفته می‌شود. شروط لازم برای تشکیل پلاسترها عبارت است از (Wells, 1969):

- وجود یک توده ماده معدنی با ارزش که نسبتاً سنگین است و در برابر هوازگی و سایش مقاوم است؛

- جدایش ماده معدنی با ارزش از سنگ منشأ و انتقال آن توسط آب، باد یا یخچال؛

- تغلیظ کانی با ارزش در درون نهشته که این مرحله معمولاً مستلزم انتقال با آب است.

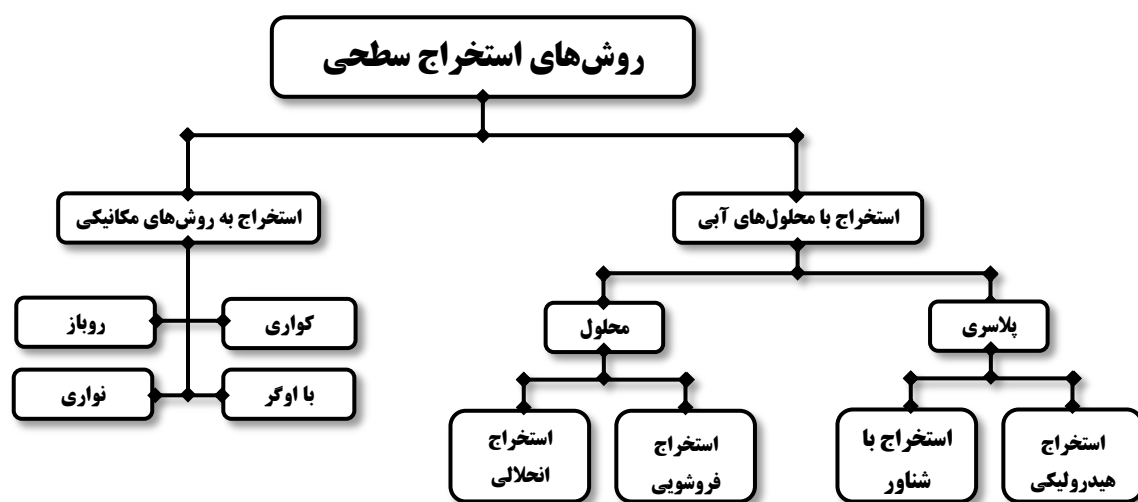
کانسارهای پلاستر در تمام ادوار زمین‌شناسی تشکیل شده‌اند، اما اکثر پلاسترهای اقتصادی کنونی مربوط به دوره سنوزوئیک می‌باشند. اکثر کانسارهای پلاستیکی کم‌عیار هستند؛ اما بواسطه سهولت استخراج، عدم نیاز به خردکردن و ارزان بودن روش‌های جداسازی ماده معدنی از باطله، مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند (Yukon Government, 2005).

#### ۴-۲-۲- اهمیت نهشته‌های پلاستی

بخش قابل توجهی از تولید مواد معدنی به ویژه طلا، عناصر گروه پلاتین و دیگر کانی‌های سنگین با ارزش از نهشته‌های پلاستی تأمین می‌شود. کانی‌های معمول در پلاست‌ها شامل طلا، الماس، قلع (کاسیتریت)، تیتان (روتیل)، پلاتین، تنگستن، کرومیت و مگنتیت است. ایران نیز دارای نهشته‌های پلاستی می‌باشد که مهم‌ترین آن‌ها ذخایر سنگ‌آهن پلاستی سنگان و ذخایر تیتانیوم کهنوج می‌باشد (شناور، ۱۳۹۴).

#### ۴-۲-۳- روش‌های استخراج معادن پلاستی

به طور کلی معادن به دو روش عمده سطحی و زیرزمینی استخراج می‌شوند. از روش‌های استخراج زیرزمینی به ندرت در استخراج معادن پلاستی استفاده شده است و از بین روش‌های استخراج سطحی که در شکل ۴-۱ دسته‌بندی شده‌اند، سه روش استخراج روباز، نواری و پلاستی (استخراج هیدرولیکی و استخراج با شناور) روش‌های معمول استخراج معادن پلاستی می‌باشند که در ادامه کلیات این روش‌ها آورده شده است (هارتمن، ۱۹۸۷):



شکل ۴-۱- انواع روش‌های استخراج سطحی (هارتمن، ۱۹۸۷)

- استخراج روباز (پلکانی): در این روش به منظور باز کردن کنسار، روباره برداشته و به

انباشت‌گاه باطله منتقل می‌شود. عملیات استخراج و باطله برداری از روی یک یا چند پله انجام

می‌گیرد. استخراج یک کانسار ضخیم مانند یک کانسار فلزی، مستلزم ایجاد پله‌های زیادی است که در نهایت گودالی به شکل مخروط ناقص تشکیل می‌شود. این معادن بر اساس سازگاری با تجهیزات انتقال و جابجایی مواد مورد استفاده، طراحی می‌شوند. ارتفاع پله به ارتفاع دسترسی سیستم بارکننده محدود می‌شود. عرض پله باید به حد کافی بزرگ باشد تا گنجایش سنگ‌های خرد شده حاصل از آتشباری پله و فضای کافی برای مانور ماشین آلات بارگیری و باربری را داشته باشد. شیب دیواره معدن و پله در حداکثر مقدار ممکن و بر مبنای ملاحظات مکانیک سنگی و مکانیک خاکی طراحی می‌شود. روش استخراج روباز از جنبه نرخ تولید در رده روش‌های بزرگ مقیاس قرار دارد و ۶۰ درصد تولیدات سطحی کانی‌ها با این روش استخراج می‌شوند. چرخه عملیات در این روش عبارتست از حفاری (چالزنی)، آتشباری، بارگیری و باربری که در مورد مواد خاکی مراحل حفاری و آتشباری حذف می‌شود (اصانلو، ۱۳۸۹ و هارتمن، ۱۹۸۷).

– **استخراج نواری:** روش استخراج نواری به طور عمده برای استخراج زغال سنگ و انواع کانسارهای لایه‌ای کم‌عمق و کم‌شیب به کار می‌رود و مشابه روش استخراج روباز است با این تفاوت که در این روش باطله به محل انباشت‌گاه منتقل نمی‌شود، بلکه به مناطق و پهنه‌های استخراج شده قبلی منتقل می‌شود. در مواردی مواد روباره بارگیری و به درون نوار نقاله تخلیه می‌شود و سپس در مناطق استخراج شده انباشت می‌شود. بارگیری و انتقال هم‌زمان روباره در داخل محدوده استخراجی، این روش را به یک روش با تولید بالا تبدیل کرده است و آن را همراه با روش استخراج روباز به عنوان یکی از کم‌هزینه‌ترین و پرکاربردترین روش‌های استخراجی مطرح کرده است. مزیت دیگر روش نواری این است که با توجه به کوتاه بودن زمان بازماندن برش و فضای استخراج شده، این امکان فراهم می‌شود که دیواره‌ها را بسیار پرشیب‌تر ایجاد کرد. خاکریزهای ایجاد شده نیز عمر کمی دارند و می‌توان آن‌ها را تحت زاویه قرار طبیعی مواد ایجاد و نگهداری کرد (هارتمن، ۱۹۸۷).

### - استخراج کانسارهای پلاسری:

روش استخراج پلاسری به دو روش هیدرولیکی و روش استخراج با شناور تقسیم می‌شود که هر دو روش دارای توان تولید بالقوه بالایی می‌باشند. شرایطی که امکان استفاده از روش‌های استخراج پلاسری را فراهم می‌کنند شامل موارد زیر است (هارتمن، ۱۹۸۷):

- مواد موجود در محل قابلیت خرد شدن و فروپاشی تحت فشار آب را داشته باشند.
- آب کافی و پر فشار مورد نیاز برای این روش باید در دسترس باشد.
- فضای کافی برای انتقال و انباشت باطله وجود داشته باشد.
- وجود ذخیره کافی از کانی با ارزش که قابلیت فرآوری با روش‌های ساده کانه آرایی را داشته باشد.

- وجود شیب کم طبیعی و لازم، به گونه‌ای که امکان حمل و نقل هیدرولیکی کانی میسر باشد.
- امکان رعایت مقررات زیست محیطی در رابطه با عدم آلودگی آب، انتقال و انباشت وجود داشته باشد.

الف) هیدرولیکی: در روش استخراج پلاسری، استخراج به وسیله محلول‌های آبی صورت می‌گیرد و برای بازیابی کانی‌های سنگین کانسارهای آبرفتی یا پلاسری، از آب برای کندن، جابجایی و انتقال و یا تغلیظ کانی استفاده می‌شود.

ب) استخراج با شناور: این عملیات عمدتاً با ایجاد حوضچه‌های مصنوعی در بالای سطح جبهه‌کار این معدن‌ها صورت می‌گیرد. عملیات استخراج در این ماشین‌آلات به صورت پیوسته بوده و در ابتدا استخراج به وسیله جام‌هایی که بر روی زنجیر مدوری که در جلوی ماشین قرار دارد صورت می‌گیرد و سپس مواد جدا شده با استفاده از نوار نقاله برای انجام فرآیندهای پر عیار سازی به بخش انباشتگاه منتقل می‌شود. شرایط فیزیکی مناسب برای استفاده از این ماشین‌آلات را می‌توان در چند مورد خلاصه کرد که عبارتند از (اصانلو، ۱۳۸۹):

- نوع مواد تحت عملیات با این دستگاه نباید خیلی سخت باشند.

- ماده معدنی بهتر است که در زیر سطح آب زیرزمینی باشد.
  - ضخامت پوشان سنگ (مخصوصاً در زیر آب) نباید خیلی باشد.
  - در مناطق عمیق فرآیند بسیار دشوار خواهد بود.
- در بین روش‌های بیان شده، روشی که در حال کار در معادن سنگ آهن پلاسری سنگان است، بیشتر مشابه مراحل ابتدایی روش‌های استخراج روباز است، با این تفاوت که از مواد ناریه برای استخراج استفاده نمی‌شود. روش‌های هیدرولیکی و استخراج با شناور نیز به دلیل عدم وجود آب کافی و نداشتن شرایط مناسب قابل استفاده در این محدوده نیستند.

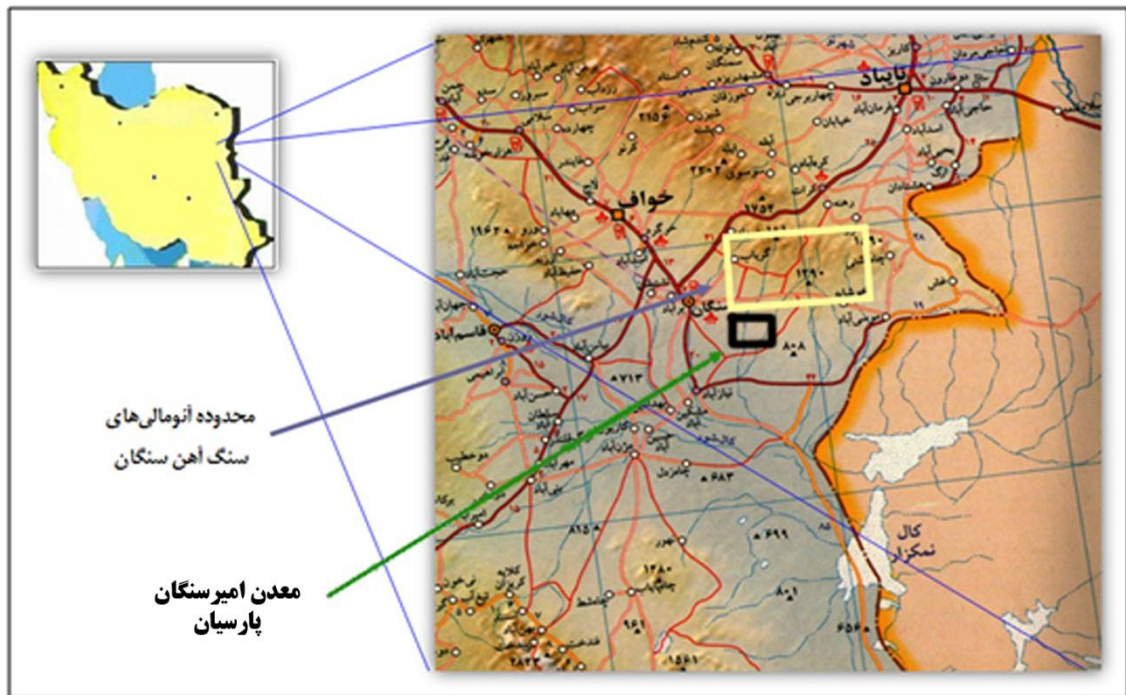
### ۴-۳- معادن سنگ آهن پلاسری سنگان

ذخیره سنگ آهن پلاسری سنگان در شمال شرق ایران در ۱۰ کیلومتری جنوب معادن سنگان قرار دارند. این ذخایر حاصل تخریب مکانیکی توده آهن سنگان در اثر عوامل مختلف سطحی (عمدتاً یخبندان و سایر عوامل هوازدگی) و ساختاری (شکستگی‌ها و درزه‌ها- شکاف‌های حاصل از فعالیت‌های تکتونیک) و حمل مکانیکی آن‌ها توسط سیلاب‌های فصلی، به دشت جنوبی معدن سنگان بوده است. عملیات تخریب و رسوب‌گذاری در طول حدود ۴ میلیون سال گذشته تداوم داشته که در سکانس‌های مختلف سیلابی به دشت‌های فرو دست توده آهن سنگان حمل و رسوب‌گذاری شده است (طوسی، ۱۳۸۳).

گسترده‌گی کل کانسار پلاسری در منطقه سنگان حدود ۲۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد که در قالب ۳۶ پروانه بهره‌برداری در حال بهره‌برداری است. عمق کانسار ۲ تا ۴۰ متر است و در مواردی تا عمق ۷۰ متری نیز گسترش یافته است. در این معادن عیار (درصد وزنی) مگنتیت و هماتیت محتوای خاک عموماً ۴ تا ۱۲ درصد است که متوسط آن ۷ درصد برآورد می‌شود. میزان ذخیره خاک حاوی سنگ آهن در این منطقه بالغ بر دو میلیارد تن است که با در نظر گرفتن عیار متوسط، میزان ذخیره مگنتیت و هماتیت موجود در خاک حدود ۱۵۰ میلیون تن خواهد بود. میزان ذخیره استخراج شده

تاکنون کمتر از ۱۰ درصد کل ذخیره برآورد می‌شود. عیار محصول دانه بندی تولیدی از این معادن ۵۹ تا ۶۴ درصد بدون عناصر مزاحم است (شناور، ۱۳۹۴).

موقعیت معدن‌های پلاسری سنگان در استان خراسان رضوی و راه‌های دسترسی به معادن مورد مطالعه در شکل ۴-۲ آورده شده است.



شکل ۴-۲- نقشه راه‌های دسترسی و موقعیت محل مورد مطالعه (برگرفته از طوسی، ۱۳۸۳)

#### ۴-۴- روش‌های متداول استخراج در معادن سنگ آهن پلاسری سنگان

در معادن سنگ آهن پلاسری سنگان روش استخراجی که بتوان آن را با یکی از روش‌های استخراج متداول سنجید وجود ندارد و فرآیند استخراج در این معادن به صورت سطحی و شبیه به استخراج روباز و بدون نظم و برنامه‌ریزی در حال انجام است. تا کنون هیچ گونه طرح استخراج مدون و قابل اجرایی برای این معادن ارائه نشده است و تمام معادن بدون طرح مدون و استاندارد در حال بهره‌برداری هستند. انتخاب جبهه کار استخراج بر اساس حدس و گمان‌های کارشناسان و با معیار عیار مناسب در سطح انتخاب و عملیات استخراج در آن قسمت انجام می‌شود. عملیات اکتشافات تفصیلی در هیچ یک از این معادن انجام نگرفته است تا بتوان بر اساس آن طرح استخراج و برنامه‌ریزی تولید

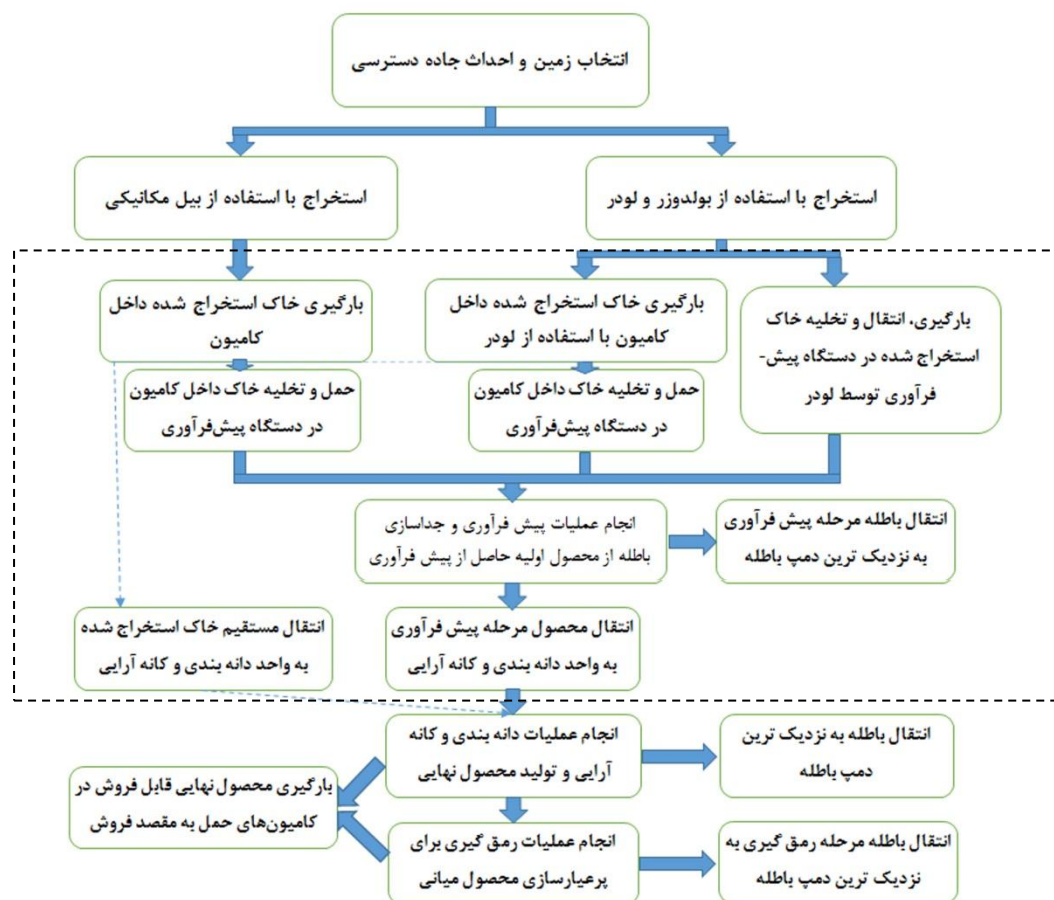
قابل اجرا ارائه داد. لذا مشکل اصلی این معادن عدم وجود شناخت کافی از ذخایر آنها است (شناور، ۱۳۹۴).

در واقع یکی از مشکلات اصلی استخراج بدون برنامه‌ریزی این معادن قیمت بالا فروش ماده معدنی و رضایت از سود کوتاه مدت فروش این مواد بوده است. در کنار تولید با این نرخ در سال‌های گذشته، عدم وجود راهنمای مشخص برای بهره‌برداری از این معادن و حتی عدم وجود اطلاعات اکتشافی کافی از این ذخایر باعث به وجود آمدن مشکلات عدیده‌ای در منطقه شده است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- استخراج غیر اصولی ذخایر پرعیار در معادن و عدم برنامه‌ریزی برای ذخایر با عیار پایین‌تر
  - استخراج غیر اصولی ذخایر سطحی در معادن و عدم برنامه‌ریزی برای ذخایر عمیق‌تر
  - انباشت غیر اصولی باطله‌ها بر روی ذخایر مجاور و تضييع شديد ذخایر معدنی
  - تشکیل انباشت‌گاه‌های باطله متعدد در معادن بدون طرح و برنامه مشخص
  - باقی ماندن بخشی از محصول در داخل باطله‌ها (به طور خاص هماتیت موجود در کانسنگ) به دلیل عدم آشنایی با روش‌های بازیابی در این نوع ذخایر
  - جانمایی نامناسب دستگاه‌های پیش‌فرآوری و تغییر مکان آنها به صورت پیوسته
  - پرداخت هزینه‌های زیاد برای جابجایی خاک، باطله و ماده معدنی استحصال شده
- فرآیند تولید در این معادن در حال حاضر بسیار ساده و طبق روندنمای شکل ۴-۳ است. استخراج (کندن خاک برجا) به روشی شبیه به روش روباز انجام می‌شود. برای کندن کانسنگ نیازی به آتشیاری نیست و با استفاده از بلدوزر یا بیل مکانیکی کانسنگ برجا برداشته شده و با کامیون به مرحله پیش‌فرآوری ارسال و در درون قیف تجهیزات پیش‌فرآوری تخلیه می‌شود. پله‌بندی خاصی در این معادن وجود ندارد و هر جا که لازم باشد پله‌هایی برای استقرار دستگاه‌های پیش‌فرآوری ایجاد می‌شود. تجهیزات پیش‌فرآوری نیمه سیار بوده و با پیشرفت عملیات معدنکاری جابجا می‌شوند. بنابراین بعضی مواقع کانسنگ مستقیم توسط لودر به درون تجهیزات پیش‌فرآوری منتقل

می شود. محصول پیش فرآوری شده با استفاده از کامیون به خطوط دانه بندی ارسال می شود و باطله ها نیز به نزدیک ترین انباشتگاه باطله ارسال می شوند (تعداد زیادی انباشتگاه باطله در این معادن و در قسمت های مختلف معدن ایجاد شده است). برای دسترسی به بخش های مختلف معدن جاده های دسترسی بدون هیچگونه طرح مشخصی احداث شده و به دلیل توپوگرافی منطقه و هزینه کم احداث جاده، جاده های دسترسی در معدن دائماً در حال تغییر بوده و طرح و برنامه مشخصی برای آنها وجود ندارد (شناور، ۱۳۹۴).

در مرحله نهایی عملیات دانه بندی و کانه آرایبی انجام می شود و از مواد معدنی حاصل شده از دستگاه پیش فرآوری عملیات رمل گیری (آخرین مرحله ممکن برای جداسازی باطله از مواد با ارزش) انجام می شود تا عیار مورد نظر حاصل شود. سپس محصول پرعیار شده آماده فروش شده و باطله حاصل شده از این عملیات به نزدیک ترین انباشتگاه باطله انتقال داده می شود (شناور، ۱۳۹۴).



شکل ۳-۴- روند استخراج تا فرآوری در معادن پلاستی سنگان (شناور، ۱۳۹۴)



یکی از معادن پلاسری سنگ آهن سنگان، معدن امیرسنگان پارسیان است که از مشکلات بیان شده مستثنی نبوده و در سال‌های اخیر با این مسائل روبرو شده است.

در این تحقیق معدن امیرسنگان پارسیان مورد مطالعه قرار گرفته است و از این پس با نام، معدن پارسیان عنوان می‌شود.

اولین اقدام مدیران مجموعه برای رفع مشکلات استخراج، هزینه‌های زیاد در این معدن و برداشت‌های غیرمهندسی، فعالیت بیشتر در زمینه نظم‌دهی معدن است که نتیجه آن هزینه تمام شده کمتر و پیرو آن سود بیشتر برای سرمایه گذار در این محدوده خواهد بود. در راستای این برنامه‌ریزی چند مرحله برای دستیابی به هدف مورد نظر وجود دارد:

گام اول، انتخاب مکان‌های مناسب برای استخراج ماده معدنی با عیار بالا در مجموعه معدن است. گام دوم، انتخاب بزرگ‌ترین انباشتگاه‌ها برای تخلیه باطله است. گام سوم، انتخاب مناسب محل دستگاه‌های پیش‌فرآوری است که یکی از اهداف اصلی مدیران در رویکرد مهندسی در این بخش از محدوده پلاسری سنگان است. گام چهارم بررسی مسیرهای مناسب برای کامیون‌ها و به حداقل رساندن هزینه‌های ترابری است.

محدوده نشان داده شده با خط چین در شکل ۴-۳ قسمت اصلی سیستم ترابری در این معدن است که بهینه‌سازی آن بخش اصلی کاهش هزینه‌ها را به دنبال خواهد داشت.

در ادامه به معرفی سیستم و اجزاء در حال فعالیت در معدن پلاسری پارسیان پرداخته شده است.

#### ۴-۵- سیستم حمل و نقل در معدن

در معدن روباز، عملیات حمل با قطار، کامیون، نوار نقاله و یا به صورت هیدرولیکی انجام می‌گیرد. اما رایج‌ترین سیستم حمل در این معدن، کامیون می‌باشد. کامیون‌ها وسیله‌هایی معدنی هستند که از آن‌ها برای حمل باطله یا ماده معدنی از مکان بارکننده به مکان انباشت‌گاه باطله یا سنگ‌شکن و یا

دستگاه‌های پیش‌فراوری استفاده می‌شوند. اندازه و هزینه عملیاتی کامیون‌ها رابطه مستقیم با ظرفیت آن‌ها دارد، در حالی که سرعت کامیون رابطه عکس با ظرفیت دارد (Burt, 2008).

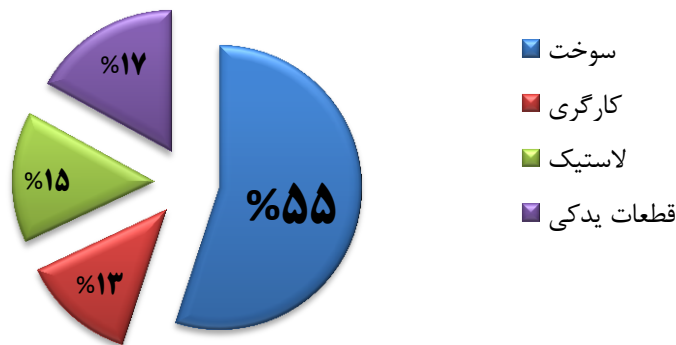
سیستم حمل بار توسط کامیون از سال ۱۹۳۰ در معادن روباز به کار گرفته شده است و هنوز هم رایج‌ترین سیستم حمل و نقل در این معادن می‌باشند. اولین کامیون‌های که در معادن روباز به کار گرفته شدند، ظرفیتی حدود ۱۵ تن داشتند. از آن زمان به بعد به دلیل آنکه ذخایر دارای عیار بالا و نزدیک سطح به تدریج استخراج و رو به کاهش نهاده‌اند و در شرایط فعلی غالب معادنی که به روش روباز استخراج می‌شوند دارای عیار کم، حجیم و در فاصله زیادی نسبت به سطح قرار دارند باعث شده است که ظرفیت کامیون‌ها افزایش یابد به نحوی که هم اکنون کامیون‌های با ظرفیت ۴۰۰ تن جهت استفاده در معادن روباز ساخته شده‌اند و کامیون‌های با ظرفیت ۲۰۰ تن به تعداد قابل توجهی در حال استفاده در معادن روباز می‌باشند (عمارلو، ۱۳۹۳).

#### ۴-۵-۱- اهمیت کاربرد کامیون‌ها در معادن

امروزه به دلیل افزایش جمعیت و بالا رفتن سطح رفاه مردم دنیا، علاقه معدن کاران به استخراج معادن دنیا افزایش پیدا کرده است. تقریباً در ۸۰٪ معادن بزرگ دنیا که به روش روباز استخراج می‌شوند از کامیون به عنوان ماشین باربری استفاده می‌شود (پریچه، ۱۳۹۲).

سیستم حمل و نقل کامیون یک سیستم مرسوم حمل در اغلب معادن دنیا می‌باشد. در این روش دستگاه‌های بارگیری سنگ‌های حاصل از انفجار و یا خاک حاصل از کندن مواد در زمین‌های سست را درون کامیون‌ها ریخته و سپس کامیون‌ها این مواد را به خارج از پیت (جبهه‌کار) و به سمت انباشتگاه باطله یا ماده معدنی، سنگ‌شکن اولیه و یا دستگاه‌های پیش‌فراوری منتقل می‌کنند.

هزینه‌ی حمل در معادن روباز بیشترین هزینه‌ی عملیاتی و سرمایه‌ای را به خود اختصاص می‌دهد. هزینه‌های اصلی در این عملیات در شکل ۴-۴ آورده شده است.



شکل ۴-۴- هزینه‌های عملیاتی حمل و نقل (پریچه، ۱۳۹۲)

همانطور که در شکل ۴-۴ قابل مشاهده است، مصرف سوخت با توجه به قیمت بالای آن به عنوان مهم‌ترین مؤلفه شناخته شده است که ۵۵٪ از هزینه‌های باربری را تشکیل می‌دهد. قیمت سوخت از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ تقریباً سه برابر شده است. همچنین هزینه‌های قطعات، لاستیک کامیون و دستمزد راننده هم در این بازه زمانی افزایش داشته‌اند و سبب شده تا هزینه‌های حمل در معدن از ۴۱٪ کل هزینه‌های عملیاتی به ۵۰٪ برسد (پریچه، ۱۳۹۲).

متخصصان تحقیقات متعددی در جهت افزایش توان باربری و سودآوری این ماشین آلات انجام داده‌اند. پیشنهادهایی از قبیل اضافه کردن ظرفیت کامیون‌ها و بهینه‌سازی میزان بار ارسالی نمی‌تواند راه حل مناسبی برای بهینه‌سازی هزینه تمام شده معدن باشد. زیرا افزایش ظرفیت کامیون‌ها افزایش مصرف سوخت، کاهش سرعت، قیمت بسیار بالا و کاهش طول عمر لاستیک‌ها را در پی دارد که دو مشکل اصلی یعنی مصرف سوخت و کاهش طول عمر لاستیک‌ها به تنهایی ۷۰ درصد کل هزینه‌های عملیاتی حمل و نقل با کامیون را شامل می‌شود (پریچه، ۱۳۹۲).

با پیشرفت معدن‌کاری، عمیق‌تر شدن معدن و افزایش فاصله حمل، زمان سیکل کاری کامیون‌ها افزایش یافته و در ادامه بهره‌وری آن‌ها کاهش خواهد یافت. در نتیجه، برای ثابت نگه‌داشتن مقدار تولید باید به تعداد کامیون‌ها اضافه شود. اما افزایش تعداد کامیون‌ها علاوه بر مشکلات ترافیکی که در

معادن به وجود خواهد آورد، هزینه‌های تعمیر و نگهداری جاده را افزایش و از طرفی قیمت تمام شده معدن و پیرو آن سودآوری را کاهش خواهد داد.

به علت‌های بیان شده بهینه‌سازی سیستم‌های حمل و نقل در معادن با توجه به هزینه‌های بالای این فرآیند و بهینه‌سازی مسافت طی شده توسط کامیون‌ها مهم هستند.

#### ۴-۶- سیستم‌های در حال کار در معادن پلاسری سنگان

##### ۴-۶-۱- سیستم بیل مکانیکی و کامیون

در این سیستم، کامیون‌ها از دستگاه بیل مکانیکی، بار را دریافت کرده و به سمت دستگاه‌های پیش‌فراوری گسیل می‌شوند. در شکل ۴-۵ یک نمونه از جبهه‌کارهای در حال فعالیت نشان داده شده است که مبدأ مسیرها هستند. این سیستم بارگیری و باربری یکی از متداول‌ترین سیستم‌های مورد استفاده در معادن دنیا و مخصوصاً ایران به شمار می‌رود.



شکل ۴-۵- سیستم بیل مکانیکی و کامیون

#### ۴-۶-۲- سیستم بولدوزر- لودر و کامیون

در این سیستم، خاکی که به وسیله بولدوزر از زمین جدا شده و انباشته شده، توسط لودر به کامیون انتقال داده شده و سپس به دستگاه‌های پیش فرآوری ارسال می‌شود. معمولاً بولدوزر کف تراشی کرده و خاک را از حالت بکر خارج کرده و برای بارگیری لودر آماده می‌کند. در شکل ۴-۶ نحوه فعالیت دو دستگاه بولدوزر و لودر آورده شده است. این سیستم با توجه به شرایط پلاسری و سست بودن زمین کاربرد مناسبی از خود نشان داده است.



شکل ۴-۶- سیستم بولدوزر- لودر و کامیون (الف) بولدوزر در حال کف تراشی - (ب) لودر در حال بارگیری کامیون  
سیستم لودر کامیون، برای بارگیری باطله‌ها و سنگ آهن جدا شده پس از خروج از دستگاه‌های پیش فرآوری نیز به کار برده می‌شود.

#### ۴-۶-۳- دستگاه پیش فرآوری

در معادن پلاسری بر خلاف معادن معمول توده‌ای و لایه‌ای، باطله و ماده معدنی با هم مخلوط شده و در واقع مرحله‌ی باطله برداری و برداشت ماده معدنی به صورت همزمان صورت می‌گیرد. به همین جهت، اختلاط ماده معدنی و باطله زیاد است. تجمع ذرات سنگ آهن به صورت لایه‌ای است و در مکان‌های مختلف ضخامت آن متفاوت است. در بخش‌هایی از معدن توالی چند لایه از ماده معدنی و باطله مشاهده شده است که ضخامت آن‌ها نیز متفاوت بوده است که این موجب عدم امکان استخراج کنترل شده می‌شود (اصلی، ۱۳۹۴).

درصد پایین سنگ آهن در لایه های آهن دار و همچنین اختلاط لایه های آهن دار با لایه های باطله، ذخیره ای را بوجود می آورد که در صورت اقتصادی بودن استخراج سنگ آهن موجود در آن، حجم قابل توجهی از آن را باطله تشکیل می دهد. هزینه های مربوط به حمل ماده معدنی و باطله از مهمترین عوامل تعیین کننده در عیار حد اقتصادی معادن پلاسری است (اصلی، ۱۳۹۴).

هدف از مرحله پیش فرآوری عبارتست از دستیابی به محصولی با درصد وزنی کانی های آهن دار بالا همراه با بالاترین بازیابی. محصول حاصل از مرحله پیش فرآوری برای خردایش، دانه بندی و همچنین افزایش عیار به خطوط فرآوری حمل می شود (اصلی، ۱۳۹۴).

#### ۴-۶-۳-۱- تاریخچه استفاده از انواع دستگاه های پیش فرآوری

مرحله پیش فرآوری در منطقه به مرور زمان دچار تغییرات زیادی شده است. در ابتدا با تصور بر اینکه ذرات سنگ آهن تنها در سطح زمین پراکنده شده اند به جمع آوری ذرات درشت و قلوه سنگ آهنی سطح به صورت سنگجوری دستی اقدام می شده است که این امر علاوه بر تولید ناچیز و همچنین سختی و طاقت فرسایی مشکلات دیگری نظیر از دست رفتن مقادیری سنگ آهن درشت دانه به علت خطای انسانی، عدم توجه به سنگ آهن ریزدانه را در پی داشته است.

با گذشت زمان بجای استفاده از سنگجوری دستی از یک پولی مگنت متصل به نوار نقاله استفاده شد که پولی مگنت در فاصله کمی از سطح زمین دوران می کرد و آهن جذب شده توسط میدان مغناطیسی ضعیف آن توسط نوار نقاله به محفظه جمع آوری محصول انتقال می یافت. این وسیله معمولاً به دنبال یک خودروی وانت استفاده می شد. در این وسیله بر خلاف روش های سنگجوری ابعاد محصول حاصله وسیع تر شده و ذرات ریز دانه نیز در محصول وجود داشتند. از معایب آن می توان به استفاده از این دستگاه تنها در سطح زمین اشاره کرد. همچنین میدان مغناطیسی ضعیف آن برای ذرات درشت تر و سایر ذرات که کیفیت آن ها پایین تر بوده است، کارایی مناسبی نداشته است (اصلی، ۱۳۹۴).

دستگاه دیگری در مسیر تکامل دستگاه‌های پیش‌فرآوری ساخته شده که از یک سیلو برای بار ورودی برخوردار بوده است. خوراک ورودی توسط تراکتور یا لودر در مخزن ورودی تخلیه شده و سپس توسط نوار نقاله هدایت شده و پولی متصل به نوار نقاله دیگر که بر روی محصول آهنی مستقر شده وظیفه جذب و انتقال ذرات آهن به داخل مخزن محصول حمل را داشته است. در مدل‌های بعدی این دستگاه، گریزلی ثابتی به مخزن خوراک افزوده شد که از ورود ذرات درشت به خوراک ورودی جلوگیری می‌کرد. به علت میدان نسبتاً ضعیف مغناطیسی و همچنین مکانیزم خاص جدایش در این روش عیار محصول تولیدی بالا اما بازیابی پایین بوده است. همچنین عدم امکان جدایش غیر دستی برای ابعاد نسبتاً درشت از مشکلات مربوط به این وسیله بوده است. در شکل ۴-۷ نمونه‌ای از این دستگاه نشان داده شده است (اصلی، ۱۳۹۴).



شکل ۴-۷- پولی مگنت برای انجام مرحله پیش‌فرآوری (اصلی، ۱۳۹۴)

پس از این مرحله بود که اولین جدا کننده‌های مغناطیسی در منطقه ساخته شد که از جدا کننده‌های نواری و استوانه‌های مغناطیسی بهره برده‌اند. البته جداکننده‌های نواری و مغناطیسی مورد استفاده نیز میدان مغناطیسی ضعیف داشته و میدان مغناطیسی این جداکننده‌ها به مرور زمان و با استفاده از آهنرباهای دائمی ساخته شده از عناصر کمیاب تقویت شده‌اند. ساماریوم و نئودیمیوم

(موسوم به آهنرباهای سفید) از مواردی هستند که میدان مغناطیسی را چندبرابر افزایش داده‌اند (اصلی، ۱۳۹۴).

#### ۴-۶-۳-۲- ضرورت استفاده از دستگاه‌های پیش‌فرآوری

دلایل استفاده از دستگاه‌های پیش‌فرآوری به شرح زیر است:

الف) عیار پایین: با توجه به عیارهای ذکر شده و اختلاط ۹۰ درصدی باطله با ماده معدنی در معادن پلاستی سنگ آهن سنگان و مقایسه آن با عیار معادن سنگ آهن مانند چادرملو، گل گهر، چغارت و سایر معادن سنگ آهن توده‌ای کشور که عیار استخراجی از معدن در حدود ۵۰٪ است، به راحتی می‌توان به میزان کم عیار بودن این ذخایر پلاستی پی برد.

با توجه به پایین بودن عیار ماده معدنی استخراجی از ذخایر پلاستی سنگ آهن، برای تولید سنگ آهن دانه‌بندی قابل شارژ به کوره بلند (عیار ۶۰٪) و یا تولید کنسانتره سنگ آهن (عیار ۶۷/۵٪) برای شارژ به واحدهای گندله‌سازی استفاده از روش‌های پیش‌فرآوری برای افزایش عیار استخراجی از معدن ضروری است. در واقع حمل ماده با درصد وزنی کانی‌های آهن دار حدود ۱۰٪ با توجه به هزینه بالا حمل تا کارخانه تولید کنسانتره و یا دانه‌بندی، اقتصادی بودن فرآیند استخراج و استحصال سنگ آهن از چنین ذخایری را با خطر روبرو می‌کند و در اغلب موارد فرآیند تولید را غیر ضروری می‌کند. بنابراین استفاده از یک یا چند مرحله پیش‌فرآوری جهت افزایش عیار ماده معدنی استخراج شده از معدن و حذف بخش باطله از آن برای اقتصادی کردن فرآیند استحصال سنگ آهن از ذخایر پلاستی بسیار ضروری است (اصلی، ۱۳۹۴).

ب) گستردگی بالای ذخایر پلاستی: با توجه به تعدد آنومالی‌های آهن ذخیره سنگ آهن سنگان (سنگ آهن پاریسیان) و گسترش طولی آن، ذخایر پلاستی تشکیل شده از این منبع دارای وسعت و گستردگی بالایی هستند. گستردگی بالای این ذخایر، استفاده از مرحله پیش‌فرآوری برای افزایش



عیار و کاهش هزینه‌های حمل و نقل به کارخانه کنسانتره و یا دانه‌بندی را به بخش جداناپذیر تولید در معادن پلاسری سنگان تبدیل کرده است.

ج) سهولت فرآوری کانسنگ استخراجی از ذخایر پلاسری: با توجه به اینکه بخش بیشتر اکسیدهای آهن موجود در ذخیره پلاسری سنگان از مگنتیت تشکیل شده است و همچنین به دلیل دانه‌بندی نسبتاً درشت آبرفت استخراجی از این ذخایر، استفاده از جدایش مغناطیسی خشک به عنوان مرحله پیش‌فرآوری روش بسیار مؤثر و ارزان قیمت است (اصلی، ۱۳۹۴).

در واقع درشت دانه بودن قطعات سنگ آهن موجود در آبرفت استخراجی و نیز بالا بودن تأثیر پذیری مغناطیسی آن‌ها (مگنتیتی بودن ذرات) باعث شده است که با یک مرحله جدایش مغناطیسی اولیه حدود ۹۰ درصد از باطله‌های غیر درگیر از قطعات آهن‌دار به آسانی جدا شوند.

#### ۴-۶-۳-۳-۳-۳ ویژگی‌های دیگر دستگاه‌های پیش‌فرآوری

##### الف) سرند گریزلی

معمولاً در مناطقی که ذرات دانه درشت در خوراک ورودی وجود دارد به سبب مشکلات ناشی از باردهی ذرات درشت دانه (کلوخه) به جدا کننده مغناطیسی و همچنین استهلاک شدید طبلك جداکننده مغناطیسی در صورت باردهی با ذرات درشت، این ذرات به گونه‌ای از خوراک ورودی جدا می‌شوند. به این منظور از سرند گریزلی در بالای سیلوی تغذیه کننده جداکننده‌های مغناطیسی استفاده می‌شود. اندازه شبکه گریزلی بر اساس شدت میدان جدا کننده مغناطیسی، مشخصات بار ورودی، حساسیت مغناطیسی ذرات سنگ آهن موجود در خوراک و... متغییر است و در محدوده‌ی ۴-۵ سانتی‌متر تا حداکثر ۱۰ سانتی‌متر قرار دارد (اصلی، ۱۳۹۴). در شکل ۴-۸ نمونه‌ای از دستگاه پیش‌فرآوری با سرند گریزلی نشان داده شده است.



شکل ۴-۸- دستگاه های پیش فرآوری با سرند گریزلی برای خاک مخلوط (اصلی، ۱۳۹۴)

#### ب) جداکننده های مغناطیسی

جداکننده های مغناطیسی از یک استوانه مغناطیسی تشکیل شده است که تنها قطعی از آن خاصیت مغناطیسی دارد. روی این جداکننده مغناطیسی با نوار پوشیده شده است. به علت وجود نوار میزان استهلاک کمتری نسبت به درام دارند و کارایی جدایش آن ها برای ذرات دانه درشت در مقایسه با جداکننده با شدت مغناطیسی یکسان، بیشتر بوده و این امر به دلیل باردهی آرام و عدم ضربه خوراک به سطح جداکننده در جداکننده مغناطیسی نواری می باشد (اصلی، ۱۳۹۴).

استوانه های مغناطیسی، استوانه ای است که از یک قطاع هسته مغناطیسی تشکیل شده و پوسته دور این هسته مغناطیسی دوران می کند. ذرات دارای خاصیت مغناطیسی مناسب در ناحیه مغناطیسی استوانه جذب شده و در منطقه فاقد میدان مغناطیسی از استوانه جدا می شوند که اکثر جداکننده های مستقر بر روی دستگاه های پیش فرآوری از این نوع می باشد. از معایب این نوع جدا کننده ها می توان به مستهلک شدن پوسته استوانه اشاره کرد که در این صورت می بایست پوسته استوانه تعویض شود. اما از لحاظ کارایی برای ذرات خوراک ریز دانه، زمان مفید آماده به کار دستگاه و همچنین سهولت کار با این نوع جدا کننده نسبت به نوع نواری دارای مزیت می باشد (اصلی، ۱۳۹۴).

## ج) ظرفیت جداسازی دستگاهها

دستگاههای پیش‌فرآوری منطقه با توجه به امکانات و برنامه‌ریزی‌های معادن ظرفیت‌های متغیری دارند. بر این اساس ظرفیت ورودی ۷۰ تن بر ساعت تا ۶۰۰ تن بر ساعت متغیر هستند (اصلی، ۱۳۹۴).

## ۴-۶-۳-۴- تقسیم‌بندی دستگاه‌های پیش‌فرآوری

دستگاه‌های پیش‌فرآوری موجود و مستقر در منطقه از لحاظ قابلیت جابجایی، نحوه‌ی باردهی، دانه‌بندی بار ورودی داده شده به جداکننده مغناطیسی، نوع جداکننده مغناطیسی مورد استفاده، ظرفیت دستگاه به چندین نوع مختلف تقسیم‌بندی می‌شوند که در ادامه به آن پرداخته خواهد شد.

۱- دستگاه‌های متحرک: این دستگاه‌ها دارای قابلیت جابجایی بالایی می‌باشند و در سریعترین زمان ممکن از مکانی به مکان دیگر جابجا می‌شوند و برای استقرار آن تنها به مکانی مسطح نیاز است و نیازی به صرف هزینه و زمان جهت زیرسازی و تهیه مکان خاص استقرار نمی‌باشد. این نوع دستگاه‌ها معمولاً در مناطقی از محدوده که دارای ذخایر سطحی هستند بهترین نتیجه را می‌دهند. هزینه‌های مربوط به جابجایی و استقرار این وسیله بسیار پایین‌تر از نمونه‌های نیمه متحرک و ثابت است ولی هزینه سرمایه‌گذاری اولیه و تعمیرات در این نوع دستگاه از نمونه‌های نیمه متحرک به مراتب بالاتر است (شکل ۴-۹-الف).

خوراک‌دهی این دستگاه‌ها توسط لودر انجام می‌شود که از معایب این دستگاه می‌توان به ظرفیت پایین و جابجایی زیاد لودر از محدوده حمل بار تا محل تخلیه و افزایش گرد و غبار اشاره کرد. اما از مزایای آن‌ها می‌توان به استقرار سریع و ارزان و عدم نیاز به وسیله حمل نظیر کامیون اشاره کرد.

۲- دستگاه‌های نیمه متحرک: این نوع دستگاه بر خلاف دستگاه‌های متحرک قابلیت تحرک بالایی ندارند و برای جابجایی آن نیاز به ماشین‌آلات سنگین می‌باشد. مکان استقرار آن می‌بایست از قبل برنامه‌ریزی شده و زیرسازی لازم نیز صورت گرفته باشد. معمولاً در کنار دیواره‌های حاصل از برداشت ماده معدنی نصب و استقرار می‌یابند. خوراک این نوع دستگاه معمولاً از فواصل کم و اطراف دستگاه

(حداکثر شعاع یک کیلومتر) تأمین می‌شود و به محض اتمام خوراک اطراف، دستگاه به محل جدید انتقال می‌یابد. فرآیند انتقال و جابجایی نیز بر اساس ظرفیت دستگاه بین ۳ تا ۵ روز به طول می‌انجامد. به سبب عدم پیچیدگی خاص در ساختار این نوع دستگاه، این وسیله از لحاظ سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه‌های جاری به صرفه‌تر بوده و نیاز چندانی به نیروی کار متخصص ندارد. اغلب دستگاه‌های پیش‌فرآوری مستقر در محدوده سنگان از این نوع می‌باشند (شکل ۴-۹-ب). خوراک‌دهی این دستگاه‌ها توسط کامیون انجام می‌شود که با توجه به بزرگ‌تر بودن قسمت سیلو، گنجایش بیشتری برای جداسازی باطله دارند.



شکل ۴-۹- نمونه‌ای از دستگاه پیش‌فرآوری (الف) متحرک و (ب) نیمه متحرک

۳- دستگاه‌های ثابت: این دستگاه‌ها معمولاً تنها یک دستگاه پیش‌فرآوری نمی‌باشند و در واقع یک مدار فرآوری می‌باشند که خوراک ورودی آن آبرفت استخراجی از معدن بوده و محصول تولیدی آنها محصول نهایی است. این خطوط دارای قابلیت جابجایی بسیار پایینی بوده و معمولاً فرآیند جابجایی آن بسیار پر هزینه است و ممکن است ده‌ها روز نیز زمان ببرد. بنابراین در محلی استقرار می‌یابند که در شعاع چند کیلومتری (این فاصله وابستگی مستقیم به هزینه تمام شده و محاسبات اقتصادی دارد) آن ذخیره قابل توجهی وجود داشته باشد. که با توجه به هزینه‌های زیاد مربوط به حمل و نقل خوراک و باطله در معادن پلاسری، تعداد این خطوط بسیار کم بوده و امروزه صرفه اقتصادی ندارند. شکل ۴-۱۰ مرحله پیش‌فرآوری و کل مدار این مدل خطوط را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۰- خطوط ثابت فرآوری

#### ۴-۶-۳-۵- انواع سنگ آهن ورودی به دستگاه پیش فرآوری

کلید طلایی فرآوری و پر عیار کردن سنگ آهن به منظور رسیدن به خلوص بالاتر در خاصیت فرو مغناطیسی سنگ آهن مگنتیت می باشد که به دلیل جذب شدن آن توسط میدان مغناطیسی می توان سنگ آهن خالص و پر عیار را از سنگ باطله که مغناطیسی نیست جدا کرد و به درصد خلوص بیشتری (عیار بالاتر) دست یافت.

سنگ های آهن از نظر جنس و کانی های تشکیل دهنده به چهار گروه تقسیم می شوند:

- مگنتیت فرومغناطیس است. فرمول شیمیایی آن  $Fe_3O_4$  که ترکیبی از  $FeO$  و  $Fe_2O_3$  است.
- هماتیت با فرمول شیمیایی  $Fe_2O_3$  که خالص آن پارامغناطیس بوده ولی در شرایط خاص فرومغناطیس می شود. اغلب هماتیت ها با مگنتیت همراهند بنابراین مقداری خاصیت فرومغناطیسی دارند.
- گوتیت با فرمول شیمیایی  $FeO(OH)$  پارامغناطیس است، و فرآوری آن دشوار است.
- لیمونیت با فرمول شیمیایی  $FeO(OH)+n(H_2O)$  که در حال حاضر مقرون به صرفه نیست.

در محدوده مورد مطالعه ذرات آهن دار شامل مگنتیت و هماتیت بوده است که با توجه به میدان مغناطیسی میزان بازیابی آنها تعیین خواهد شد.

شکل ۴-۱۲ نمای کلی دستگاه موجود در معدن پارسیان را نشان می دهد که دارای دو درام برای جداسازی سنگ آهن است.



شکل ۴-۱۱- نمایی از یک دستگاه پیش فرآوری در حال در معدن پارسیان

دستگاه های پیش فرآوری موجود و در حال استفاده در معدن امیرسنگان پارسیان نیمه متحرک، ورودی خاک توسط کامیون، نوع بار ورودی مخلوطی از دانه های ریز و درشت است و نوع جداکننده مغناطیسی آن استوانه ای است. ظرفیت جداسازی این دستگاه ها با توجه به داشتن دو درام، ۲۰۰ تن در ساعت است.

#### ۴-۷- جمع بندی

با توجه به وضعیت روش های استخراج سطحی در معادن پلاستی سنگ آهن سنگان، نیاز به مطالعه روش ها با هزینه های پایین تر در هر کدام از بخش های سیستم در حال کار محسوس است. یکی از بخش های سیستم استخراج، حمل و نقل مواد استخراجی توسط کامیون است که سهم بیشتری در هزینه ها دارد.

در سیستم حمل و نقل، دستگاه‌های پیش‌فرآوری و محل آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که کمترین جایجایی باطله حاصل شود، لذا با مطالعه و امکان‌سنجی تقلیل هزینه‌ها از بخش‌های بیان شده، می‌توان در هزینه‌های کل استخراجی صرفه‌جویی کرده و با توجه به قیمت‌های پایین فروش ماده معدنی، استخراج را با سود بیشتر انجام داد.





## فصل پنجم:

جانمایی هیئت دستگاه‌های پیش‌فراوری

## ۵-۱- مقدمه

معدن پلاسری امیرسنگان پارسیان یکی از محدوده‌های بزرگ و با ذخیره مناسب در محدوده سنگان است که مناسب‌ترین گزینه برای مطالعه در این زمینه می‌باشد. با توجه به شرایط عملیاتی که در این معدن حاکم است، بهینه‌سازی در شبکه حمل و نقل امری ضروری به نظر می‌رسد. در معدن پارسیان، ابتدا مکان‌های مناسب دستگاه‌ها برای تولید مناسب تعیین شده است. پس از مطالعات مکانیک سنگی و بررسی نقاط مختلف برای نصب دستگاه‌های پیش‌فراوری نقاطی مورد نظر قرار داده شده است.

در این فصل، با توجه به شرایط خاص و تصمیم‌گیری در معدن برای یافتن مکان‌های مناسب نصب دستگاه‌های پیش‌فراوری که کمترین هزینه را برای سیستم حمل و نقل داشته باشد، الگوریتم ابتکاری نوشته شده در برنامه Visual Studio 2010 اجرا شده و مسیرهای بهینه رفت تعیین می‌شوند. پس از آن مسیرهای برگشت بهینه تعیین و با ثبت زمان‌های بارگیری، حرکت کامیون‌های پر، تخلیه بار، حرکت کامیون‌های خالی و آماده شدن برای بارگیری، تعداد کامیون مورد نیاز برای

انجام کل عملیات محاسبه می‌شود. در نهایت مقدار تابع هدف که میزان هزینه انجام شده برای این جابجایی است و تعداد کامیون استفاده شده برای تولید یکسان با روش سنتی مقایسه می‌شود.

## ۵-۲- تعیین محل استخراج

در معادن روباز همیشه ممکن است استخراج کانسنگ از چندین جبهه کار انجام شود. مکان و زمان دقیق استخراج کانسنگ و باطله از معدن و همین‌طور میزان استخراج کاملاً در برنامه‌ریزی تولید مشخص است. البته با توجه به شرایط موجود و مشکلاتی که در فصل چهارم در رابطه با آشنایی از منطقه بیان شد، تاکنون این امر به صورت مهندسی در معادن پلاستی سنگان انجام نشده است؛ لذا اولین مرحله تعیین نقاط قابل استخراج و با پتانسیل مناسب برای بهره‌برداری است.

در انتخاب این نقاط، معیارهایی در نظر گرفته شده که به چند مورد از آن‌ها در زیر اشاره شده است:

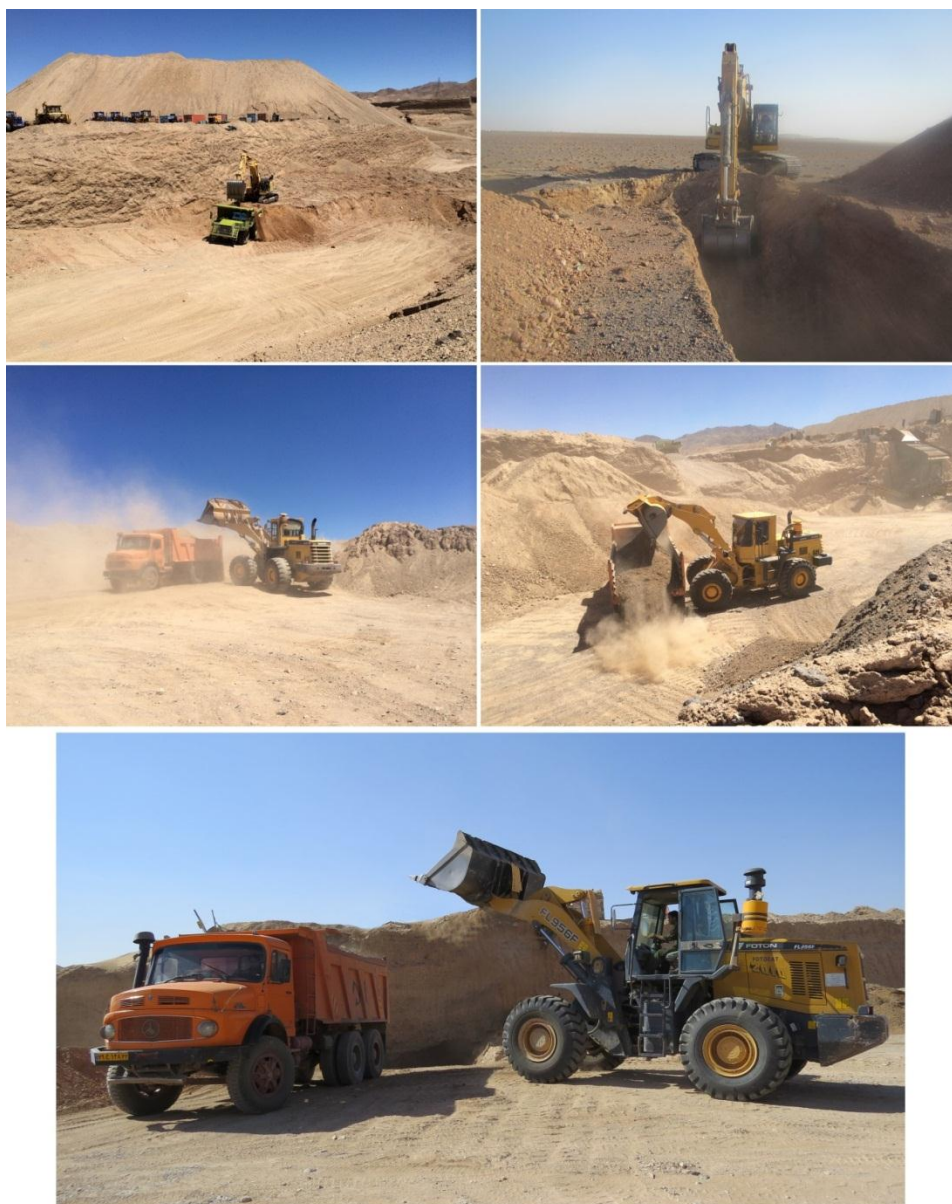
۱- وجود ماده معدنی، حداقل عمق در نظر گرفته شده ۲۰ متر، با توجه به حفاریات انجام شده و در دسترس بودن ماده معدنی اندازه‌گیری و به عنوان یکی از معیارها انتخاب شده است.

۲- عیار مناسب، این معیار به دلیل اهمیت در فروش و تعیین قیمت ماده معدنی، یکی از مهمترین عواملی است که در انتخاب جبهه کار تأثیر گذار است. نمونه‌های حفاری جمع‌آوری شده و برای آزمایش طبقه‌بندی شده است.

۳- وجود فضای گسترده و امکان فعالیت بصورت آزادانه، با توجه به شرایط موجود باید به آزادی عمل موجود در جبهه کارها توجه کرد و به عنوان یک معیار تصمیم‌گیری در نظر گرفت.

با توجه به شرایط و معیارهای تصمیم‌گیری بیان شده، پنج نقطه برای بهره‌برداری انتخاب شده که با توجه به ماشین‌آلات موجود در معدن، دو دستگاه بیل مکانیکی ۸۰۰ شرکت کوماتسو و دو دستگاه لودر WA470 شرکت کوماتسو و هیپکو و یک دستگاه لودر FL956F شرکت فوتون در محل‌های بارگیری قرار گرفته‌اند. که محل‌های قرارگیری ماشین‌آلات با حروف A, B, C, D و E نام‌گذاری شده‌اند. در شکل ۵-۱ نمایی از پنج جبهه کار انتخاب شده نشان داده شده است.

در جبهه کار A و D یک عدد دستگاه بیل مکانیکی ۸۰۰ شرکت کوماتسو و در جبهه کار B، C و E یک دستگاه لودر و در کنار هر کدام از لودرها یک دستگاه بولدوزر برای تأمین بار قرار داده شده است.



شکل ۵-۱- نمایی از پنج جبهه کار A تا E

جدول ۵-۱ توان تولیدی کل معدن را به صورت ساعتی و روزانه نشان می‌دهد:

جدول ۵-۱- میزان تولید در هر جبهه‌کار

نام جبهه‌کار	ماشین آلات مورد استفاده	توان تولید (تن بر ساعت)	توان تولید (تن بر روز)
A	بیل مکانیکی ۸۰۰	۲۰۰	۱۶۰۰
B	بولدوزر و لودر	۱۰۰	۸۰۰
C	بولدوزر و لودر	۱۲۰	۹۶۰
D	بیل مکانیکی ۸۰۰	۲۰۰	۱۶۰۰
E	بولدوزر و لودر	۱۸۰	۱۴۴۰
جمع		۸۰۰	۶۴۰۰

### ۵-۳- تعیین نقاط کاندیدا برای نصب دستگاه‌های پیش‌فرآوری

دومین مرحله در جانمایی مناسب دستگاه‌های پیش‌فرآوری، تعیین نقاط کاندیدا برای قرارگیری این دستگاه‌ها است. نقاط کاندیدا باید دارای شرایط زیر باشند:

۱- نقطه‌ی مورد نظر بایستی در دیواره‌ای از معدن که کمترین پیشروی استخراج به سمت آن را دارد واقع شود.

۲- فضای کافی برای مانور کامیون بایستی وجود داشته باشد و یا هزینه‌ی لازم برای ایجاد این فضا باید در محاسبات وارد شود.

۳- از لحاظ مکانیک سنگی پله‌ای که به عنوان کاندیدا انتخاب می‌شود باید کاملاً پایدار باشد و یا هزینه‌ی پایدارسازی آن باید در محاسبات وارد شود.

۴- تا حد امکان نقطه‌ی مورد نظر در پایین‌ترین تراز واقع شود تا کامیون‌های پر به سمت پایین حرکت کنند.

شکل ۵-۲ یکی از نقاط پیشنهادی برای نصب دستگاه پیش‌فرآوری است که بر اساس معیارها انتخاب شده است.



شکل ۵-۲- نمایی از دیواره کانیدیا برای نصب دستگاه‌های پیش‌فرآوری

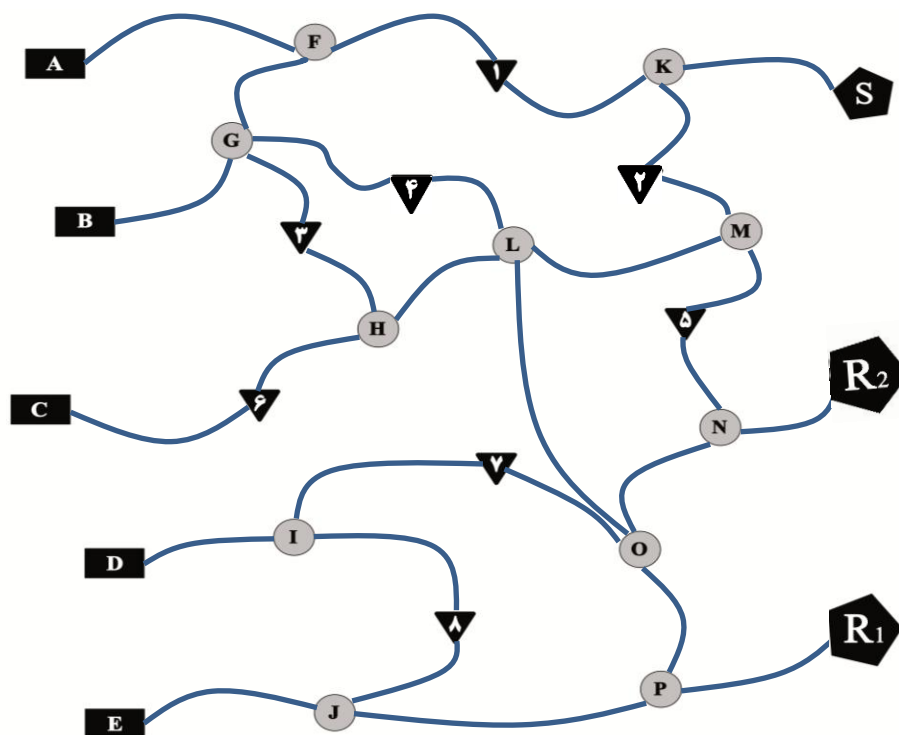
در مجموع ۸ نقطه برای نصب این دستگاه‌ها پیشنهاد داده شده است که پایداری آن‌ها مسجّل بوده و نیازی به پایدارسازی در آن‌ها نیست. پس از تعیین محل نقاط کانیدیا و مطالعه‌ی این نقاط باید بهترین نقاط از بین آن‌ها تعیین شود. بهترین نقاط نقاطی هستند که هزینه‌ی کلی حمل را کمینه کنند. برای این منظور باید فاصله‌ی تمام این نقاط تا جبهه‌کارها تعیین شود و هزینه‌ی حمل با توجه به تناژ کانسنگ استخراج شده از جبهه‌کار محاسبه شود.

ظرفیت دستگاه‌های پیش‌فرآوری جداسازی ۲۰۰ تن در ساعت خاک است، با توجه به توان تولید شده که طبق جدول ۵-۱، ۸۰۰ تن در ساعت است، نیاز به قرار گرفتن ۴ دستگاه در مسیر حمل به سایت دانه‌بندی می‌باشد. شکل ۵-۳ موقعیت استقرار دستگاه‌ها، گره‌ها، شبکه مسیر و مکان‌های کانیدیا برای نصب دستگاه‌های پیش‌فرآوری را نشان می‌دهد. نقاط ۱ تا ۸ محل‌های پیشنهادی برای نصب دستگاه‌های پیش‌فرآوری هستند که شرایط استقرار دستگاه‌ها در آن محل‌ها وجود دارد. نقطه S محل دانه‌بندی است که سنگ آهن اولیه جدا شده در دستگاه‌های پیش‌فرآوری به این محل انتقال داده می‌شود. نقاط  $R_1$  و  $R_2$  نیز انباشتگاه‌های باطله هستند.

نقاطی که بیش از یک مسیر برای عبور وجود دارد (مانند نقاط F تا P) و با شکل دایره نشان داده شده‌اند و نقاط مورد نظر برای نصب دستگاه‌ها (نقاط شماره ۱ تا ۸) که با نماد مثلث نشان داده شده‌اند به‌عنوان گره انتخاب شده و در تمام شبکه فواصل بین آن‌ها اندازه‌گیری شده است.

#### ۵-۴- ثبت اطلاعات مورد نیاز در معدن

پارامترهای تصمیم‌گیری معدن را می‌توان به دو دسته، داده‌های عملیاتی و اطلاعات و هزینه‌های قراردادی تقسیم‌بندی کرد. داده‌های عملیاتی مربوط به فواصل بین نقاط بارگیری و تخلیه، ایستگاه‌های بارگیری، وضعیت ماشین‌آلات، زمان‌های رفت و برگشت ماشین‌آلات می‌باشد. اطلاعات قراردادی شامل، هزینه‌ها و شرایطی است که مسئولین معدن به صورت پیمانکاری و یا قراردادی در نظر گرفته‌اند. زمان‌ها پس از پردازش که منجر به حذف برخی داده‌های ناهمگن شده به طور میانگین در نظر گرفته شده است.



شکل ۵-۳- موقعیت استقرار دستگاه‌ها و نقاط پیشنهادی برای نصب دستگاه‌های پیش‌فرآوری

#### ۵-۴-۱- اطلاعات ثبت شده از عملیات

در جدول ۲-۵ فواصل اندازه‌گیری شده بین تمام گره‌ها آورده شده است:

جدول ۲-۵- فاصله بین تمام گره‌ها بر حسب متر

از گره	به گره	طول مسیر (متر)	از گره	به گره	طول مسیر (متر)	از گره	به گره	طول مسیر (متر)
A	F	۱۰۰	4	G	۱۰۰۰	7	I	۲۰۰
F	1	۱۱۵۰	L	4	۱۰۰۰	O	7	۷۰
1	K	۱۱۵۰	M	L	۱۰۰۰	N	O	۱۲۰
F	G	۱۵۰	O	L	۲۷۰	P	O	۱۰۰
K	2	۲۵	5	M	۱۰۵۰	N	R <sub>2</sub>	۴۰۰۰
2	M	۲۵	N	5	۱۰۵۰	J	E	۲۰۰
K	S	۸۰۰۰	6	C	۱۲۵	8	J	۵۰۰
B	G	۲۰۰	H	6	۱۲۵	I	8	۵۰۰
G	3	۲۵	L	H	۱۵۰۰	P	J	۸۰۰
3	H	۲۵	I	D	۳۰۰	P	R <sub>1</sub>	۳۰۰۰

در مسیرهای موجود، برای یافتن کوتاه‌ترین مسیر از هر نقطه مبدأ به مقصد، از الگوریتم دایجسترا استفاده شده است که نحوه انتخاب گره‌ها در بخش ۳-۶-۱ شرح داده شده است. کار اصلی این الگوریتم ثبت کوتاه‌ترین مسیرها از گره مبدأ به گره مقصد است. الگوریتم و برنامه نوشته شده این رویکرد در محیط برنامه‌نویسی Visual Studio 2010 با زبان ++C در بخش پیوست ۱ آورده شده است. کوتاه‌ترین مسیرها از نقاط جبهه‌کار به دستگاه‌های پیش‌فرآوری و از آن مکان به انباشتگاه‌های باطله و سایت دانه‌بندی برای عبور کامیون‌های سیستم در جدول ۳-۵ آورده شده است:

جدول ۳-۵- کوتاه‌ترین فاصله بین تمام نقاط برای عبور کامیون‌های پر بر حسب متر

موقعیت	بارکننده نام محل	ماده بارگیری	شماره مکان نقاط کاندیدا							
			۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
A	بیل ۸۰۰	خاک	۱۲۵۰	۲۴۲۵	۲۷۵	۱۲۵۰	۳۰۰۰	۵۵۰	۲۵۹۰	۲۸۴۰
B	لودر	خاک	۱۵۰۰	۲۶۷۵	۲۲۵	۱۲۰۰	۳۱۴۰	۳۷۵	۲۵۴۰	۳۲۴۰
C	لودر	خاک	۱۶۰۰	۲۷۷۵	۲۷۵	۱۳۰۰	۳۲۴۰	۱۲۵	۲۶۴۰	۳۳۴۰
D	بیل ۸۰۰	خاک	۳۰۱۰	۱۸۶۵	۲۸۶۵	۱۸۴۰	۱۲۴۰	۳۰۱۵	۵۰۰	۸۰۰
E	لودر	خاک	۳۵۷۰	۲۳۹۵	۴۳۹۵	۲۳۷۰	۱۱۲۰	۳۵۴۵	۵۲۰	۷۰۰
S	سایت دانه‌بندی	آهن	۹۱۵۰	۸۰۲۵	۱۰۴۷۵	۱۰۰۵۰	۸۶۰۰	۱۰۶۲۵	۹۳۹۰	۱۰۰۹۰
R <sub>1</sub>	دپو باطله ۱	باطله	۵۵۲۰	۴۳۴۵	۵۳۹۵	۴۳۷۰	۳۷۷۰	۵۵۴۵	۳۱۷۰	۳۸۷۰
R <sub>2</sub>	دپو باطله ۲	باطله	۵۳۰۰	۴۱۲۵	۵۴۱۵	۴۳۹۰	۳۵۵۰	۵۵۶۵	۳۱۹۰	۳۸۹۰



جدول ۴-۵ متوسط زمان طی مسیر کامیون‌های پر بنز ده چرخ است. این زمان‌ها بر حسب

دقیقه و پس از چندین تکرار به طور متوسط بین هر ایستگاه درج شده است:

جدول ۴-۵- متوسط زمان طی مسیر کامیون‌های پر بین تمام نقاط بر حسب دقیقه

موقعیت	بارکننده نام محل	ماده بارگیری	شماره مکان نقاط کانیدیا							
			۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
A	بیل ۸۰۰	خاک	۳/۱۰	۶/۰۲	۰/۶۸	۳/۱۰	۷/۴۴	۱/۶۳	۶/۴۳	۷/۰۵
B	لودر	خاک	۳/۷۲	۶/۶۴	۰/۵۶	۲/۹۸	۷/۷۹	۰/۹۳	۶/۳۰	۸/۰۴
C	لودر	خاک	۳/۹۷	۶/۸۹	۰/۶۸	۳/۲۳	۸/۰۴	۰/۳۱	۶/۵۵	۸/۲۹
D	بیل ۸۰۰	خاک	۷/۴۷	۴/۶۳	۷/۱۱	۴/۵۷	۳/۰۸	۷/۴۸	۱/۲۴	۱/۹۹
E	لودر	خاک	۸/۸۶	۵/۹۴	۱۰/۹۱	۵/۸۸	۲/۷۸	۸/۸۰	۱/۲۹	۱/۷۴
S	سایت دانه‌بندی	آهن	۲۲/۷۰	۱۹/۹۱	۲۵/۹۹	۲۴/۹۴	۲۱/۳۴	۲۶/۳۶	۲۳/۳۰	۲۵/۰۴
R <sub>1</sub>	دپو باطله ۱	باطله	۱۳/۷۰	۱۰/۷۸	۱۳/۳۹	۱۰/۸۴	۹/۳۵	۱۳/۷۶	۸/۸۷	۹/۵۵
R <sub>2</sub>	دپو باطله ۲	باطله	۱۳/۱۵	۱۰/۲۴	۱۳/۴۴	۱۰/۸۹	۸/۸۱	۱۳/۸۱	۷/۹۲	۹/۶۵

علاوه بر مسیرهایی که در حالت پر برای کامیون‌ها در نظر گرفته شد، برای کامیون‌های خالی

مسیرهای جدیدی نیز بوجود می‌آید که در جدول ۵-۵ طول کوتاه‌ترین مسیرها آورده شده است:

جدول ۵-۵- کوتاه‌ترین مسیرهای ممکن برای برگشت کامیون‌های خالی

موقعیت	بارکننده نام محل	ماده بارگیری	نام موقعیت							
			A	B	C	D	E	S	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>
S	دانه‌بندی	تخلیه	۱۰۴۰۰	۱۰۶۵۰	۱۰۷۵۰	۹۸۴۰	۹۷۲۰	۰	-	-
R <sub>1</sub>	انباشتگاه باطله	تخلیه	۵۶۲۰	۵۵۷۰	۵۶۷۰	۳۶۷۰	۳۶۹۰	-	۰	-
R <sub>2</sub>	انباشتگاه باطله	تخلیه	۵۶۴۰	۵۵۹۰	۵۶۹۰	۳۶۹۰	۳۷۱۰	-	-	۰
۱	لودر	آهن-باطله	۱۲۵۰	۱۵۰۰	۱۶۰۰	۳۰۱۰	۳۵۷۰	۹۱۵۰	۵۵۲۰	۵۳۰۰
۲	لودر	آهن-باطله	۲۴۲۵	۲۶۷۵	۲۷۷۵	۱۸۶۵	۲۳۹۵	۸۰۲۵	۴۳۴۵	۴۱۲۵
۳	لودر	آهن-باطله	۲۷۵	۲۲۵	۲۷۵	۲۸۶۵	۴۳۹۵	۱۰۴۷۵	۵۳۹۵	۵۴۱۵
۴	لودر	آهن-باطله	۱۲۵۰	۱۲۰۰	۱۳۰۰	۱۸۴۰	۲۳۷۰	۱۰۰۵۰	۴۳۷۰	۴۳۹۰
۵	لودر	آهن-باطله	۳۰۰۰	۳۱۴۰	۳۲۴۰	۱۲۴۰	۱۱۲۰	۸۶۰۰	۳۷۷۰	۳۵۵۰
۶	لودر	آهن-باطله	۵۵۰	۲۷۵	۱۲۵	۳۰۱۵	۳۵۴۵	۱۰۶۲۵	۵۵۴۵	۵۵۶۵
۷	لودر	آهن-باطله	۲۵۹۰	۲۵۴۰	۲۶۴۰	۵۰۰	۵۲۰	۹۳۹۰	۳۱۷۰	۳۱۹۰
۸	لودر	آهن-باطله	۲۸۴۰	۳۲۴۰	۳۳۴۰	۸۰۰	۷۰۰	۱۰۰۹۰	۳۸۵۰	۳۸۹۰

به طور مثال، کامیون پر پس از تخلیه بار در مرکز دانه‌بندی S علاوه بر اینکه می‌تواند به هر کدام

از دستگاه‌های پیش‌فراوری بازگردد، این امکان وجود دارد که به محل‌های استخراج، یعنی مراکز A تا

E بازگشته و در آنجا بارگیری شود. متوسط زمان طی این مسیرها توسط کامیون‌های خالی در جدول ۵-۶ آورده شده است.

جدول ۵-۶- متوسط زمان برگشت کامیون‌های خالی

موقعیت	بارکننده نام محل	ماده بارگیری	نام موقعیت							
			R <sub>2</sub>	R <sub>1</sub>	S	E	D	C	B	A
S	دانه‌بندی	تخلیه	-	-	۰	۲۲/۲۷	۲۲/۵۵	۲۴/۶۳	۲۴/۴۰	۲۳/۸۳
R <sub>1</sub>	انباشتگاه باطله	تخلیه	-	۰	-	۸/۴۵	۸/۴۱	۱۲/۹۹	۱۲/۷۶	۱۲/۸۸
R <sub>2</sub>	انباشتگاه باطله	تخلیه	۰	-	-	۸/۵۰	۸/۴۵	۱۳/۰۴	۱۲/۸۱	۱۲/۹۲
۱	لودر	آهن-باطله	۱۲/۱۴	۱۲/۶۵	۲۰/۹۷	۸/۱۸	۶/۹۰	۳/۶۷	۳/۴۴	۲/۸۶
۲	لودر	آهن-باطله	۹/۴۵	۹/۹۶	۱۸/۳۹	۵/۴۹	۴/۲۷	۶/۳۶	۶/۱۳	۵/۵۶
۳	لودر	آهن-باطله	۱۲/۴۱	۱۲/۳۶	۲۴/۰۰	۱۰/۰۷	۶/۵۶	۰/۶۳	۰/۵۲	۰/۶۳
۴	لودر	آهن-باطله	۱۰/۰۶	۱۰/۰۱	۲۳/۰۳	۵/۴۳	۴/۲۲	۲/۹۸	۲/۷۵	۲/۸۶
۵	لودر	آهن-باطله	۸/۱۳	۸/۶۴	۱۹/۷۱	۲/۵۷	۲/۸۴	۷/۴۲	۷/۱۹	۶/۸۷
۶	لودر	آهن-باطله	۱۲/۷۵	۱۲/۷۱	۲۴/۳۵	۸/۱۲	۶/۹۱	۰/۲۹	۰/۸۶	۱/۲۶
۷	لودر	آهن-باطله	۷/۳۱	۷/۲۶	۲۱/۵۲	۱/۱۹	۱/۱۵	۶/۰۵	۵/۸۲	۵/۹۳
۸	لودر	آهن-باطله	۸/۹۱	۸/۸۲	۲۳/۱۲	۱/۶۰	۱/۸۳	۷/۶۵	۷/۴۲	۶/۵۱

همچنین امکان بارگیری هر کامیون از همان دستگاه پیش‌فراوری که خاک را تخلیه می‌کند وجود دارد، فاصله سطح شیبدار ایجاد شده از محل تخلیه هر دستگاه پیش‌فراوری با محل بارگیری مواد جدا شده از آن ۳۵ متر است که زمان طی این مسیر به طور متوسط ۰/۳۳ دقیقه است.

متوسط زمان بارگیری کامیون‌های ده چرخ بنز در هر ایستگاه ۲ دقیقه و متوسط زمان تخلیه بار در ایستگاه‌های مختلف ۰/۵ دقیقه ثبت شده است.

از دیگر داده‌های مورد نیاز در حل مدل، مشخصات عملیاتی کامیون‌های فعال در شیفت مورد نظر است که توسط پیمانکار به کار گرفته می‌شوند. کامیون‌های مورد استفاده در این معدن بنز ده چرخ است. حداقل و حداکثر تناژ قابل حمل ماده معدنی توسط این ماشین آلات، به ترتیب ۱۷ و ۲۲ تن است. حداقل و حداکثر تناژ برای حمل باطله نیز ۱۹ و ۲۵ تن است. تعداد دستگاه‌های قابل دسترس از این نوع ۳۸ عدد است. سال تولید کامیون‌های در حال استفاده در این معدن از سال ۱۳۸۰ تا سال ۱۳۹۰ متغیر است.

## ۵-۴-۲- اطلاعات قراردادی ثبت شده در معدن

### ۵-۴-۲-۱- هزینه‌های باربری کامیون‌ها

به دلیل عقد قرارداد در بخش ترابری معدن به صورت پیمانکاری، به ازای هر تن کانسنگ حمل شده با توجه به مسافتی که طی شده است، هزینه پرداخت خواهد شد. در بازه‌های مختلف مسافتی، این هزینه تغییر می‌کند و کاملاً وابسته به طول مسیر است. در جدول ۵-۷ نحوه پرداخت هزینه حمل توسط سیستم کامیون آورده شده است:

جدول ۵-۷- هزینه‌های پیمانکاری باربری

ردیف	فاصله (متر)	قیمت (ریال بر تن)
۱	۱۰۰۰-۰	۵۰۰۰
۲	۳۰۰۰-۱۰۰۱	۷۰۰۰
۳	۵۰۰۰-۳۰۰۱	۸۵۰۰
۴	۸۰۰۰-۵۰۰۱	۱۰۰۰۰
۵	بیشتر از ۸۰۰۰	۱۲۰۰۰

### ۵-۴-۲-۲- هزینه‌های اپراتوری دستگاه‌های پیش‌فرآوری

علاوه بر هزینه‌های حمل خاک توسط کامیون، هزینه اپراتوری دستگاه پیش‌فرآوری نیز باید در محاسبات وارد شود. این هزینه شامل مواردی همچون، هزینه کارکرد لودر، هزینه سوخت مصرفی و دستمزد کارگر یا کارگرانی که به عنوان اپراتور مسئولیت سرویس‌کاری و برقراری ایمنی برای تخلیه بار کامیون را برعهده دارند، می‌باشد. هزینه اپراتوری دستگاه برای جداسازی هر تن خاک تخلیه شده در دستگاه پیش‌فرآوری ۴۰۰۰ (ریال بر تن) است.

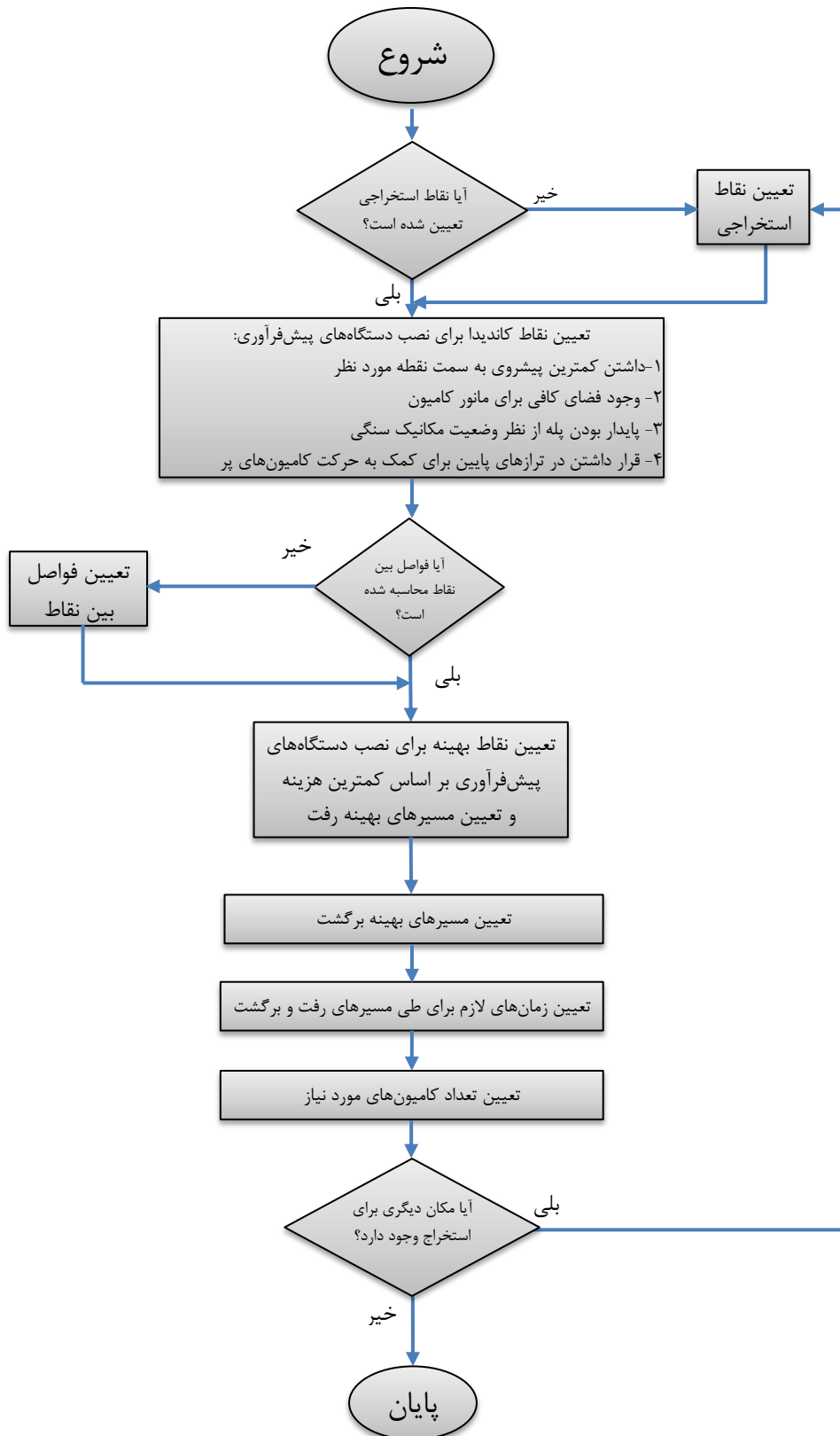
### ۵-۴-۲-۳- دستگاه پیش‌فرآوری آماده به کار

با توجه به امکان خرابی دستگاه‌ها و یا افزایش احتمالی ظرفیت تولید، یک دستگاه پیش‌فرآوری با همان ظرفیت به صورت آماده به کار نیز در نظر گرفته شده است. لذا در نهایت ۵ نقطه از ۸ نقطه مورد نظر برای نصب دستگاه‌های پیش‌فرآوری باید انتخاب شود.

قابل ذکر است که با توجه به هزینه‌های جانبی و اپراتوری دستگاه‌های پیش‌فرآوری بدیهی است که اگر دستگاه‌ها در کنار یکدیگر قرار بگیرند، هزینه‌های اپراتوری دستگاه کاسته خواهد شد. به‌طور مثال نیروی کارگری و سرپرستی اضافه حذف خواهد شد. هزینه دستگاه بارکننده مواد جدا شده و محصول پیش‌فرآوری برای دو دستگاه به حداقل خواهد رسید. هزینه سوخت به صورت مشترک برای دو دستگاه تقسیم می‌شود. لذا با توجه به برآوردهای انجام شده، در صورت قرار گرفتن هر دو دستگاه در کنار یکدیگر از هزینه‌های اپراتوری هریک از دستگاه‌ها به مقدار ۵۰۰ ریال به ازای هر تن خاک تخلیه شده در دستگاه پیش‌فرآوری کاسته خواهد شد.

### ۵-۵- روند بهینه‌سازی مسأله

برای بهینه‌سازی سیستم حمل و نقل و جانمایی دستگاه‌های پیش‌فرآوری از روندنمای شکل ۵-۴ استفاده می‌شود. در مرحله اول، انتخاب مکان‌های مناسب برای استخراج با شرایط و معیارهای مورد نظر انجام می‌شود. در مرحله دوم، نقاط مناسب که شرایط مورد نظر را دارند، برای نصب دستگاه‌های پیش‌فرآوری کاندیدا می‌شوند. در مرحله سوم، کمترین فواصل بین نقاط تعیین می‌شود. در مرحله چهارم، بر اساس کوتاه‌ترین مسیرها، به طوری که هم به نقاط استخراجی نزدیک باشد و هم به انباشت‌گاه‌های باطله و سایت دانه‌بندی، محل‌های بهینه برای نصب دستگاه‌ها تعیین می‌شود. در این مرحله مسیرهای رفت و حمل بار برای کامیون‌های پر نیز مشخص می‌شود. در مرحله پنجم، کامیون‌های خالی به نقاط بارگیری تخصیص داده شده و مسیرهای برگشت بهینه تعیین می‌شوند. در مرحله ششم، تعداد کامیون‌های مورد نیاز برای انجام عملیات باربری، با توجه به زمان‌های هر فعالیت تعیین می‌شود. در نهایت، امکان ادامه معدن‌کاری بررسی شده و در صورت برقرار بودن شرایط معدن‌کاری، روند مجدداً تکرار خواهد شد.

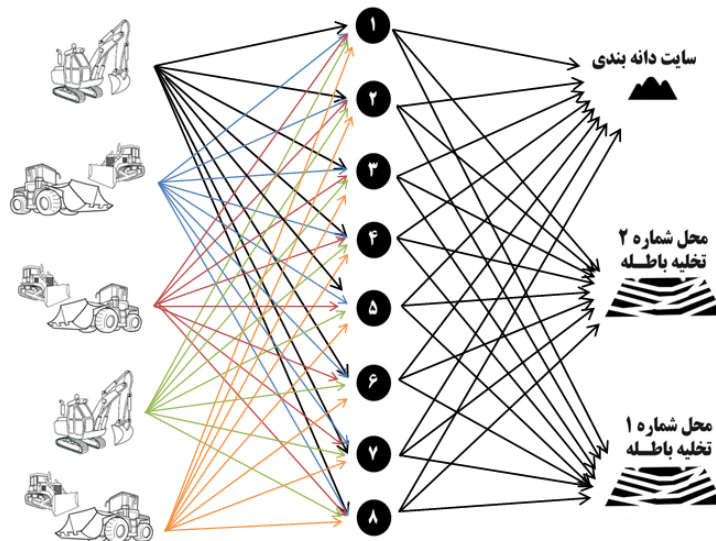


شکل ۵-۴- روند بهینه‌سازی سیستم حمل و نقل و جانمایی دستگاه‌های پیش‌فرآوری

## ۵-۶- مدل ارائه شده برای جانمایی دستگاه‌های پیش‌فرآوری

با در نظر گرفتن هزینه‌های باربری برحسب طول مسیر تخصیص دستگاه‌های پیش‌فرآوری به جبهه‌کارها و همزمان تخصیص نقاط تخلیه (سایت دانه‌بندی و انباشت‌گاه باطله) به دستگاه‌های پیش‌فرآوری، مدل کمینه‌سازی هزینه‌ها ارائه شده است که هدف آن تعیین مسیرهای بهینه رفت است که از این طریق محل دستگاه‌های پیش‌فرآوری در نقاط کاندیدا انتخاب می‌شوند.

شکل ۵-۵ تمام مسیرهای ممکن برای عبور کامیون‌های پر را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۵- تمام مسیرهای رفت ممکن برای انتقال کامیون‌های پر

## ۵-۶-۱- تابع هدف مدل ارائه شده

در این مدل هزینه هر تن خاک با توجه به فاصله‌ای که توسط کامیون منتقل می‌شود، هزینه ایستگاه پیش‌فرآوری که در آنجا تأسیس می‌شود، هزینه انتقال مواد به سایت دانه‌بندی و در نهایت هزینه ارسال مواد به انباشتگاه‌های باطله کمینه شده است؛ لذا تابع هدف به صورت زیر تعریف خواهد شد:

$$Min Z = \sum_{i=A}^E \sum_{j=1}^8 P_i * x_{ij} * CT_{ij} + \sum_{j=1}^8 CS_j + \sum_{j=1}^8 0.1 * P_i * x_{ij} * CT_{js} + \sum_{j=1}^8 \sum_{r=2}^3 Z_{jr} * CT_{jr}$$

به‌طوری‌که هزینه ارسال مواد از جبهه کار  $i$  به مرکز فرآوری  $z$  در بخش اول، هزینه عملیاتی و فعالیت دستگاه در بخش دوم، هزینه ارسال مواد از مرکز فرآوری  $z$  به مرکز دانه‌بندی که شامل ۱۰ درصد از کانسنگ ورودی به دستگاه می‌شود در بخش سوم و هزینه ارسال باطله از مرکز فرآوری به انباشت‌گاه باطله در بخش چهارم تابع هدف، کمینه خواهد شد. پارامترهای استفاده شده در تابع هدف  $Z$  در جدول ۵-۸ معرفی شده‌اند.

جدول ۵-۸- پارامترهای مورد استفاده در تابع هدف

پارامتر	توضیحات
$P_i$	مقدار مواد تولیدی در معدن $i$
$X_{ij}$	متغیری پیوسته بین صفر و یک که نشان دهنده درصد مواد ارسالی از معدن $i$ به مرکز فرآوری $j$ است.
$d_{ij}$	فاصله معدن $i$ تا مرکز فرآوری $j$
$Z_{jr}$	متغیر پیوسته که نشان دهنده میزان بار ارسالی از مرکز فرآوری $j$ به انباشتگاه باطله $R$ است.
$CT_{ij}$	هزینه ارسال هر تن بر کیلومتر که از جدول ۵-۷ حاصل می‌شود.
$CS_j$	هزینه‌های اپراتوری برای مرکز فرآوری $j$
$CT_{js}$	هزینه انتقال مواد از مرکز فرآوری $i$ به مرکز دانه بندی $S$
$CT_{jr}$	هزینه انتقال مواد از مرکز فرآوری $i$ به انباشتگاه باطله $R$

### ۵-۶-۲- محدودیت‌های مدل ارائه شده

محدودیت‌هایی که در این تابع در نظر گرفته شده است در ادامه معرفی شده است:

الف) محدودیت توزیع تولید

محدودیت تمامی مواد تولید شده در جبهه کارها به مراکز فرآوری انتقال داده شود.

$$\sum_{j=1}^8 X_{ij} = 1 \quad \forall i \in \{A, B, C, D, E\}$$

ب) محدودیت ظرفیت دستگاه‌های پیش‌فرآوری

توسط این محدودیت، ارسال مواد از جبهه کارها متناسب با ظرفیت دستگاه‌های پیش‌فرآوری تنظیم خواهد شد، به بیان ساده‌تر بیشتر از ظرفیت دستگاه‌ها بار ارسال نشود.

$$\sum_{i=A}^E x_{ij} * p_i \leq y_{jl} * 200 * l \quad \forall j \in \{1, \dots, 8\}, \forall l \in \{1, \dots, 4\}$$

ج) محدودیت تعداد دستگاه‌ها پیش‌فرآوری

توسط این محدودیت تعداد دستگاه‌هایی که باید در ایستگاه‌ها قرار داده شود تعیین می‌شود. این محدودیت با توجه به تصمیم‌گیری راجع به میزان استخراج و تولید انعطاف پذیر بوده و می‌تواند به راحتی تغییر یابد.

$$\sum_{j=1}^8 \sum_{l=1}^4 y_{jl} = 4$$

د) محدودیت ثبت شمار دستگاه‌های پیش‌فرآوری

این محدودیت تعداد دستگاه‌های فرآوری در یک ایستگاه حداکثر یکی از موارد ممکن را به خود می‌گیرد. یعنی یکی از مقادیر  $y_{jl}$  را می‌پذیرد، به این صورت که اگر دو دستگاه در یک مکان تعیین شود،  $y$  که یک دستگاه را انتخاب کرده حذف خواهد شد.

$$\sum_{l=1}^4 y_{jl} \leq 1 \quad \forall j \in \{1, \dots, 8\}$$

ه) محدودیت جداسازی باطله

این محدودیت تعیین کننده انتقال ۹۰ درصد از مواد ورودی به دستگاه‌های پیش‌فرآوری به انباشتگاه باطله است:

$$\sum_{l=1}^4 x_{ij} * p_i - \sum_{r=2}^3 0.9 * z_{jr} = 0 \quad \forall j \in \{1, \dots, 8\}$$

و) محدودیت شناسایی نقاط برگزیده

این محدودیت مشخص کننده ایستگاه‌هایی است که حداقل یک دستگاه پیش‌فرآوری در محل قرار گرفته است:

$$y_{jl} \leq v_j \quad \forall j \in \{1, \dots, 8\}, \forall l \in \{1, \dots, 4\}$$



ز) محدودیت شناسایی نقاط نصب دستگاه بعنوان نقطه ارسال باطله

این محدودیت مشخص کننده ارسال مواد باطله از ایستگاهی است که در آن دستگاه پیش‌فرآوری اختصاص یافته است:

$$\sum_{r=2}^3 W_{jr} = v_j \quad \forall j \in \{1, \dots, 8\}$$

ح) محدودیت ثبت نقطه ارسال باطله به عنوان نقطه برگزیده

این محدودیت مشخص می‌کند در صورتی که مواد از ایستگاه پیش‌فرآوری به انباشتگاه باطله فرستاده شدند، حداقل یک دستگاه در مرکز فرآوری وجود داشته است:

$$z_{jr} \leq M * w_{jr} \quad \forall j \in \{1, \dots, 8\}, \forall r \in \{1, \dots, 3\}$$

ت) محدودیت هزینه عملیاتی

این محدودیت هزینه عملیاتی هر ایستگاه را محاسبه می‌کند:

$$CS_j \geq \sum_{i=A}^E p_i * x_{ij} * CO_l - M * (1 - y_{jl}) \quad \forall j \in \{1, \dots, 8\}, \forall l \in \{1, \dots, 4\}$$

ی) محدودیت غیر منفی بودن

$$z_{jr} \geq 0$$

$$CS_j \geq 0$$

پارامترهای استفاده شده در محدودیت‌های (الف) تا (ی)، در جدول ۵-۹ معرفی شده‌اند:

جدول ۵-۹- پارامترهای استفاده شده در محدودیت‌ها

پارامتر	توضیحات
$P_i$	مقدار مواد تولیدی در معدن $i$
$x_{ij}$	متغیری پیوسته بین صفر و یک که نشان دهنده درصد مواد ارسالی از معدن $i$ به مرکز فرآوری $j$ است.
$y_{jl}$	متغیر صفر و یک است و در صورتی مقدار یک می‌گیرد، که در مرکز فرآوری $j$ ، دستگاه پیش‌فرآوری قرار داده شود.
$l$	تعداد دستگاه‌هایی است که در مرکز فرآوری $j$ قرار داده شده است.

ادامه جدول ۵-۱۰- پارامترهای استفاده شده در محدودیت‌ها

$Z_{jr}$	متغیر پیوسته که نشان دهنده میزان بار ارسالی از مرکز فراوری $j$ به انباشتگاه باطله $R$ است.
$V_j$	متغیر صفر و یک است و زمانی که حداقل یک دستگاه در مرکز فراوری $j$ مستقر شود مقدار یک می‌گیرد و در غیر اینصورت صفر می‌باشد.
$W_{jr}$	متغیر صفر و یک است، در صورتی مقدار یک می‌گیرد که از مرکز فراوری $j$ به انباشتگاه باطله $R$ مواد ارسال شوند.
$M$	یک عدد بزرگ مثبت است.
$CS_j$	هزینه‌های اپراتوری برای مرکز فراوری $j$ .
$CO_l$	هزینه عملیاتی هر اپراتور به ازای هر تن در ساعت در صورتی که در مرکز پیش‌فراوری مورد نظر $l$ دستگاه پیش‌فراوری قرار داده شود.

تابع هدف و محدودیت‌های مدل ارائه شده در ادامه آورده شده است:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=A}^E \sum_{j=1}^8 P_i * x_{ij} * CT_{ij} + \sum_{j=1}^8 CS_j + \sum_{j=1}^8 0.1 * P_i * x_{ij} * CT_{js} + \sum_{j=1}^8 \sum_{r=2}^3 Z_{jr} * CT_{jr}$$

subject to:

$$\sum_{j=1}^8 x_{ij} = 1 \quad \forall i \in \{A, B, C, D, E\}$$

$$\sum_{i=A}^E x_{ij} * p_i \leq y_{jl} * 200 * l \quad \forall j \in \{1, \dots, 8\}, \forall l \in \{1, \dots, 4\}$$

$$\sum_{j=1}^8 \sum_{l=1}^4 y_{jl} = 4$$

$$\sum_{l=1}^4 y_{jl} \leq 1 \quad \forall j \in \{1, \dots, 8\}$$

$$\sum_{i=1}^8 x_{ij} * p_i - \sum_{r=2}^3 0.9 * z_{jr} = 0$$

$$y_{jl} \leq v_j \quad \forall j \in \{1, \dots, 8\}, \forall l \in \{1, \dots, 4\}$$

$$\sum_{r=2}^3 W_{jr} = v_j \quad \forall j \in \{1, \dots, 8\}$$

$$z_{jr} \leq M * w_{jr} \quad \forall j \in \{1, \dots, 8\}, \forall r \in \{1, \dots, 3\}$$

$$CS_j \geq \sum_{i=A}^E p_i * x_{ij} * CO_l - M * (1 - y_{jl}) \quad \forall j \in \{1, \dots, 8\}, \forall l \in \{1, \dots, 4\}$$

$$Z_{jr} \geq 0$$

$$CS_j \geq 0$$

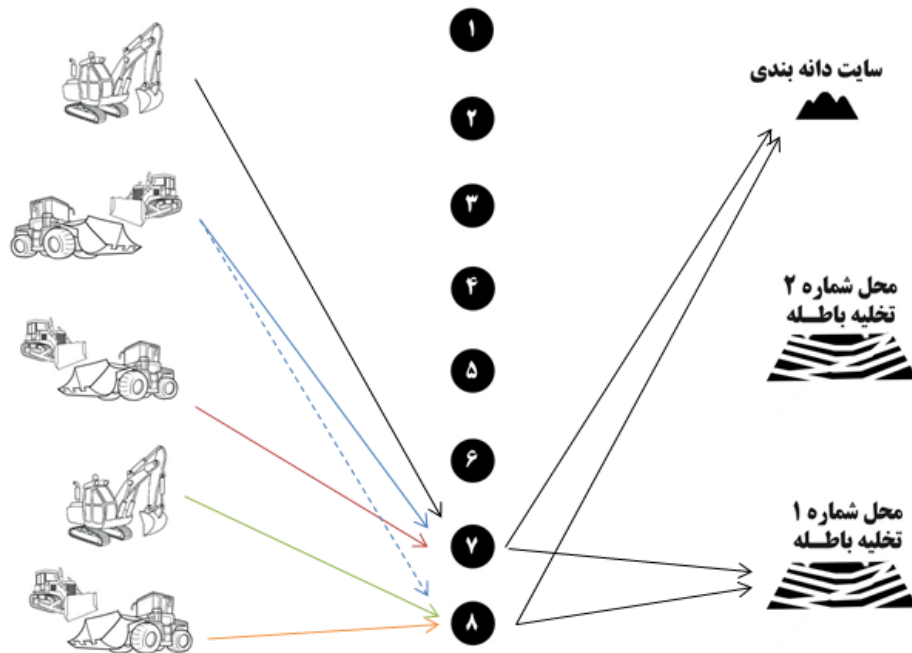
### ۵-۶-۳- جواب مدل ارائه شده

تابع هدف و محدودیت‌های تعیین شده مسأله حمل و نقل به صورت برنامه‌ای در محیط Visual Studio 2010 و با زبان ++C نوشته شده و توسط حل‌کننده CPLEX 12.3 حل شده و مسیرهای بهینه انتخاب شده است. کد نوشته شده و جواب‌های ارائه داده شده توسط نرم‌افزار در پیوست ۲ آورده شده است. جواب حاصل از حل و اجرای این مدل در دو بخش تنظیم شده است، در بخش (الف) ابتدا چهار دستگاه پیش‌فرآوری که نیاز ۸۰۰ تن کانسنگ استخراجی را پاسخگو است، جانمایی شده است و در بخش (ب) یک دستگاه پیش‌فرآوری آماده به کار برای مواقع اضطراری و بروز احتمالی مشکلات برای دستگاه‌های در حال کار، با در نظر گرفتن کمترین فاصله با تمام نقاط استخراجی جانمایی شده است.

#### الف) جانمایی چهار دستگاه پیش‌فرآوری

با توجه به ظرفیت تولید (معادل ۸۰۰ تن در ساعت)، چهار دستگاه پیش‌فرآوری (با ظرفیت جداسازی ۲۰۰ تن در ساعت) جانمایی شده است. مسیرهای تعیین شده به مراکز پیش‌فرآوری شماره ۷ و ۸ بیانگر محل مناسب برای نصب دستگاه‌ها است. با حل شدن مدل و نتیجه تخصیص ۴۰۰ تن بار به نقطه شماره ۷ و ۴۰۰ تن بار به نقطه شماره ۸، نتیجه حاصل شده، نصب دو دستگاه پیش‌فرآوری در نقاط ۷ و ۸ است. شکل ۵-۶ نحوه توزیع بار را به صورت شماتیک نشان می‌دهد.

در جواب ارائه شده، میزان بار ارسالی در هر مسیر و به هر کدام از دستگاه‌های پیش‌فرآوری جانمایی شده در نقاط ۷ و ۸ تعیین شده است.



شکل ۵-۶- مسیرهای بهینه رفت برای انتقال بار توسط کامیون‌های پر

جدول ۵-۱۰ طول مسیرهای بهینه برای انجام شدن هدف که تولید و جداسازی ۸۰۰ تن

کانسنگ آهن در ساعت است را نشان می‌دهد.

جدول ۵-۱۱- مسیرهای تعیین شده برای کمترین هزینه جداسازی ۸۰۰ تن خاک

موقعیت	بارکننده نام محل	ماده بارگیری	جمع کل	شماره مکان نقاط کاندیدا								
				۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
A	بیل ۸۰۰	خاک	۲۰۰	-	۲۵۹۰	-	-	-	-	-	-	-
B	لودر	خاک	۱۰۰	۳۲۴۰	۲۵۴۰	-	-	-	-	-	-	-
C	لودر	خاک	۱۲۰	-	۲۶۴۰	-	-	-	-	-	-	-
D	بیل ۸۰۰	خاک	۲۰۰	۸۰۰	-	-	-	-	-	-	-	-
E	لودر	خاک	۱۸۰	۷۰۰	-	-	-	-	-	-	-	-
S	سایت دانه بندی	آهن	۸۰	۱۰۰۹۰	۹۳۹۰	-	-	-	-	-	-	-
R <sub>1</sub>	انباشت‌گاه باطله ۱	باطله	۷۲۰	۳۸۷۰	۳۱۷۰	-	-	-	-	-	-	-
R <sub>2</sub>	انباشت‌گاه باطله ۲	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

لذا با توجه به مجموعه جواب ارائه شده مشخص است که انتقال مواد به انباشت‌گاه باطله

شماره ۲ (R<sub>2</sub>) از نظر اقتصادی برای انتقال هیچکدام از قسمت‌ها مناسب نیست. همچنین هیچ

مسیری به محل‌های کاندیدا برای نصب دستگاه در مکان‌های ۱ تا ۶ ثبت نشده است. در

جدول ۵-۱۰ از موقعیت B دو مسیر به موقعیت‌های ۷ و ۸ ثبت شده است که به معنی تقسیم بار به دو بخش است که نسبت‌های آن و همچنین مقاصد نهایی برای تخلیه بار در سایت دانه‌بندی و انباشتگاه باطله در جدول ۵-۱۱ آورده شده است:

جدول ۵-۱۲- نحوه توزیع بار از نقاط استخراجی به دستگاه‌ها و از دستگاه‌ها به مقاصد نهایی

موقعیت	بارکننده نام محل	ماده بارگیری	جمع کل	شماره مکان نقاط کانیدیا									
				۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱		
A	بیل ۸۰۰	خاک	۲۰۰	-	۲۰۰	-	-	-	-	-	-	-	-
B	لودر	خاک	۱۰۰	۲۰	۸۰	-	-	-	-	-	-	-	-
C	لودر	خاک	۱۲۰	-	۱۲۰	-	-	-	-	-	-	-	-
D	بیل ۸۰۰	خاک	۲۰۰	۲۰۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	لودر	خاک	۱۸۰	۱۸۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S	سایت دانه بندی	آهن	۸۰	۴۰	۴۰	-	-	-	-	-	-	-	-
R <sub>1</sub>	دپو باطله ۱	باطله	۷۲۰	۳۶۰	۳۶۰	-	-	-	-	-	-	-	-
R <sub>2</sub>	دپو باطله ۲	باطله	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

همانطور که در شکل ۵-۶ نشان داده شده است، تمام خاک استخراج شده از نقطه بارگیری A به مرکز فرآوری شماره ۷ ارسال خواهد شد. خاک استخراجی از جبهه کار B به دو بخش تقسیم می‌شود که ۲۰ درصد (۲۰ تن در ساعت) از آن به مرکز فرآوری ۸ و ۸۰ درصد از آن (۸۰ تن در ساعت) به مرکز فرآوری شماره ۷ ارسال خواهد شد. تمام مواد استخراج شده از جبهه کار C به مرکز فرآوری شماره ۷ فرستاده شده است و تمام مواد استخراجی از جبهه کارهای D و E به مرکز فرآوری شماره ۸ ارسال خواهد شد. این تقسیم بار با توجه به ظرفیت تولید جبهه کارها و ظرفیت پذیرش توسط دستگاه‌های پیش‌فرآوری تنظیم شده است.

**ب) انتخاب دستگاه پیش‌فرآوری آماده به کار**

اگر همین مدل برای انتخاب یک دستگاه تعریف شود، می‌توان مناسب‌ترین نقطه نصب دستگاه پیش‌فرآوری که برای استفاده در شرایط بحرانی و در صورت خرابی دستگاه‌های دیگر در نظر گرفته شده است، را تعیین کرد.

پس از حل مدل و تغییر محدودیت (ج) در مدل ارائه شده و تعیین حداکثر یک مکان برای جانمایی کردن دستگاه برای شرایط اضطراری، مرکز فرآوری شماره ۷ تعیین شده است که کم‌ترین هزینه را در صورت رخ دادن شرایط اضطراری خواهد داشت.

لذا با توجه به جواب‌های تعیین شده در بخش‌های (الف) و (ب) در مجموع سه دستگاه در محل پیش‌فرآوری شماره ۷ و دو دستگاه در محل پیش‌فرآوری شماره ۸ نصب شده است.

مقدار تابع هدف در این شرایط ۱۳۸۱۰۰۰۰ ریال است که به ازای ۸۰۰ تن در ساعت برای سیستم باربری پرداخت خواهد شد. در شیف ۸ ساعته روزانه در این معدن ۱۱۰۴۸۰۰۰۰ ریال برای سیستم ترابری پرداخت خواهد شد که نتیجه این فعالیت روزانه تولید ۶۴۰ تن سنگ آهن پیش‌فرآوری شده است.

**۵-۷- انتخاب مسیرهای بهینه برگشت****۵-۷-۱- اطلاعات ورودی**

با توجه به چرخه باربری و تکمیل شدن آن، نیاز به تعیین مسیرهای بهینه برگشت محسوس است؛ لذا در این مرحله، محل‌های تخلیه شامل سایت دانه‌بندی، انباشت‌گاه باطله شماره ۱ و دستگاه‌های پیش‌فرآوری به عنوان گره‌های مبدأ، و پنج جبهه کار و بخش خروجی دستگاه‌های پیش‌فرآوری به عنوان گره‌های مقصد در نظر گرفته شده است. طول مسیر بین ایستگاه‌هایی که مورد نیاز است و در جواب مدل ارائه شده در مسیرهای رفت قرار گرفته‌اند، در جدول ۵-۱۲ خلاصه شده است:

جدول ۵-۱۳- فاصله مسیرهای ممکن برگشت بر حسب متر

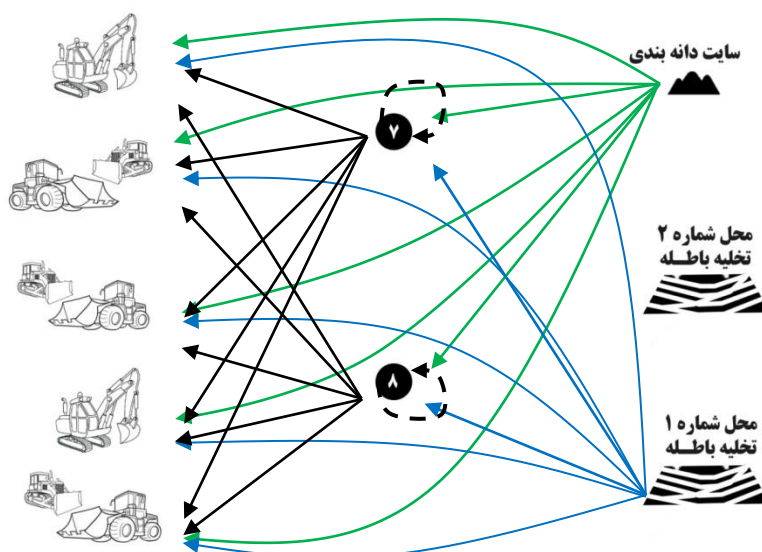
موقعیت	بارکننده نام محل	ماده تخلیه شده	مقصدهای کامیون‌های خالی				
			A	B	C	D	E
۷	دستگاه پیش‌فرآوری	خاک	۲۵۹۰	۲۵۴۰	۲۶۴۰	۵۰۰	۵۲۰
۸	دستگاه پیش‌فرآوری	خاک	۲۸۴۰	۳۲۴۰	۳۳۴۰	۸۰۰	۷۰۰
S	سایت دانه‌بندی	آهن	۱۰۴۰۰	۱۰۶۵۰	۱۰۷۵۰	۹۸۴۰	۹۷۲۰
R <sub>1</sub>	انباشت‌گاه باطله	باطله	۵۶۲۰	۵۵۷۰	۵۶۷۰	۳۶۷۰	۳۶۹۰

متوسط زمان برگشت کامیون‌های خالی در مسیرهای مورد نظر و بین ایستگاه‌هایی که در مسیرهای رفت جانمایی شده‌اند برای بارگیری مجدد، در جدول ۵-۱۳ به طور خلاصه آورده شده است:

جدول ۵-۱۴- متوسط زمان‌های برگشت کامیون‌های خالی

موقعیت	بارکننده نام محل	ماده تخلیه شده	مقصدهای کامیون‌های خالی				
			A	B	C	D	E
۷	دستگاه پیش‌فرآوری	خاک	۵/۹۳	۵/۸۲	۶/۰۵	۱/۱۵	۱/۱۹
۸	دستگاه پیش‌فرآوری	خاک	۶/۵۱	۷/۴۲	۷/۶۵	۱/۸۳	۱/۶۰
S	سایت دانه‌بندی	آهن	۲۳/۸۳	۲۴/۴۰	۲۴/۶۳	۲۲/۵۵	۲۲/۲۷
R <sub>1</sub>	انباشت‌گاه باطله	باطله	۱۲/۸۸	۱۲/۷۶	۱۲/۹۹	۸/۴۱	۸/۴۵

تمام مسیرهای ممکن برگشت کامیون‌های خالی برای بارگیری در شکل ۵-۷ به صورت شماتیک نشان داده شده است:



شکل ۵-۷- تمام مسیرهای ممکن برای برگشت کامیون‌های خالی

از طرفی، تعداد کامیون‌هایی که در محل‌های تخلیه مواد اعلام آمادگی برای بارگیری انجام می‌دهند برابر است با تعداد کامیون‌های پر که بار خود را در نقاط S، R<sub>1</sub>، ۷ و ۸ تخلیه می‌کنند. در چرخه انتقال ۸۰۰ تن خاک به دستگاه‌های پیش‌فرآوری و پس از آن انتقال آن‌ها به مقاصد نهایی، تعداد دفعاتی که بارگیری انجام می‌شود با توجه به توان باربری کامیون‌ها و توان تولیدی در هر جبهه‌کار تعیین می‌شود.

جدول ۵-۱۴ نشان دهنده تعداد عملیات بارگیری است که برابر با تعداد دفعات تخلیه بار است.

جدول ۵-۱۵- تعداد دفعات تخلیه بار

موقعیت	بارکننده نام محل	ماده بارگیری	مرکز تخلیه بار			
			۷	۸	R <sub>1</sub>	S
A	بیل ۸۰۰	خاک	۱۰	-	-	-
B	لودر	خاک	۴	۱	-	-
C	لودر	خاک	۶	-	-	-
D	بیل ۸۰۰	خاک	-	۱۰	-	-
E	لودر	خاک	-	۹	-	-
۷	دستگاه پیش‌فرآوری	آهن یا باطله	-	-	۱۸	۲
۸	دستگاه پیش‌فرآوری	آهن یا باطله	-	-	۱۸	۲
	جمع تعداد کامیون ارسالی به مرکز تخلیه بار		۲۰	۲۰	۳۶	۴

ظرفیت باربری کامیون ۲۰ تن در نظر گرفته شده است. اعداد فوق حاصل تقسیم میزان بار ارسالی از هر جبهه‌کار به دستگاه پیش‌فرآوری منتخب و پس از آن از دستگاه‌های پیش‌فرآوری به نقاط تخلیه نهایی است. لذا خروجی این جدول، تعیین تعداد دفعات درخواست بارگیری از طرف کامیون‌های خالی در یک ساعت مفید شیف است. جمع ستون‌های مراکز تخلیه بار نشان دهنده تعداد مرتبه ورود کامیون به مرکز تخلیه و پس از آن آماده بودن برای عرضه به نقاط بارگیری است و این تعداد عرضه ممکن، در محاسبات وارد شده است.



### ۵-۷-۲- تابع هدف

با توجه به حداقل کردن هزینه‌ها در این بخش با استفاده از کمینه کردن زمان‌های طی مسیر بین ایستگاه‌ها به تخصیص کامیون‌های خالی پرداخته و به نقاط بارگیری تخصیص داده می‌شوند. تابع هدف کمینه سازی زمان است که تابعی از مسیر است.

$$\text{Min } Z = \sum x_{ij} t_{ij}$$

$x_{ij}$ : تعداد وسایلی که از نقطه عرضه  $i$  به نقطه تقاضای  $j$  ارسال می‌شوند.

$t_{ij}$ : زمان طی مسیر از نقطه  $i$  به نقطه  $j$  است.

$i$  نقطه عرضه کامیون در محل‌های تخلیه ابتدایی است و  $j$  نقاط بارگیری کامیون‌ها است.

### ۵-۷-۳- محدودیت‌ها

الف) محدودیت عرضه

تعداد کامیون‌هایی که از مراکز عرضه  $i$  به تمامی نقاط تقاضا تخصیص داده می‌شوند برابر با تعداد کامیونی است که در نقطه عرضه  $i$  موجود است.

$$\sum_j x_{ij} = S_i \quad \forall i$$

$S_i$ : تعداد کامیون‌های موجود در مرکز عرضه  $i$  است.

ب) محدودیت تعداد کامیون‌ها

تعداد کامیون‌هایی که از مراکز عرضه  $i$  به مرکز تقاضا  $j$  تخصیص داده می‌شود باید برابر با تعداد کامیون مورد نیاز مرکز تقاضا  $j$  می‌باشد.

$$\sum_i x_{ij} = d_j \quad \forall j$$

$d_j$ : تعداد کامیون‌های مورد نیاز مرکز تقاضا  $j$  است.

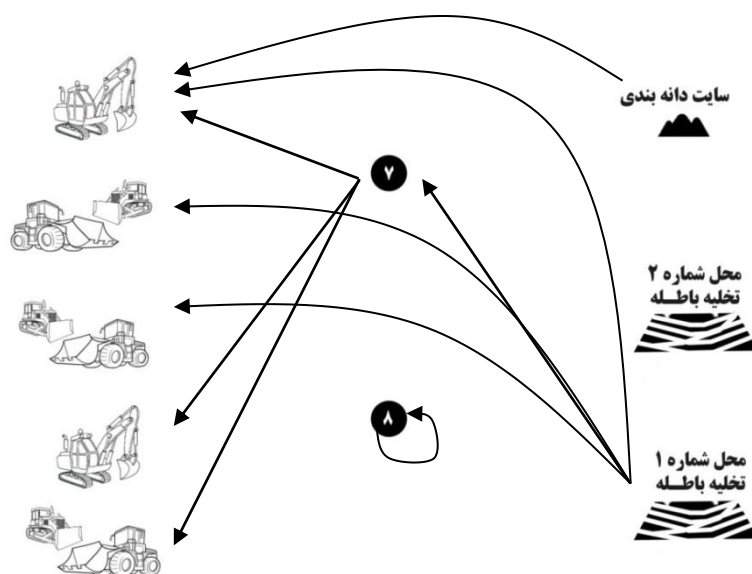
۵-۷-۴- جواب

با توجه به مدل ارائه شده، کوتاه‌ترین مسیرها که کمترین زمان‌های طی مسیر را دارند، برای تخصیص کامیون‌ها به نقاط عرضه دارند با توجه به کل زمان یک ساعت مفید شیفت کاری، تعیین شده‌اند و در جدول ۵-۱۵ نحوه توزیع آن‌ها آورده شده است. کد این مرحله در پیوست ۳ آورده شده است.

جدول ۵-۱۶- نحوه توزیع کامیون‌ها پس از تخلیه بار

موقعیت	بارکننده نام محل	تعداد کامیون ورودی به موقعیت عرضه	نام محل‌های عرضه بار							
			A	B	C	D	E	۷	۸	
S	سایت دانه‌بندی	۴	۴	-	-	-	-	-	-	-
R <sub>1</sub>	انباشت‌گاه باطله	۳۶	۵	۵	۶	-	-	-	۲۰	-
۷	دستگاه پیش‌فراوری	۲۰	۱	-	-	۱۰	۹	-	-	-
۸	دستگاه پیش‌فراوری	۲۰	-	-	-	-	-	-	۲۰	-
	جمع	۸۰	۱۰	۵	۶	۱۰	۹	۲۰	۲۰	-

پس از تخلیه بار در مکان‌های مذکور مقصد مرکز بارگیری برای کامیون درخواست داده، نشان داده شده است. به طور مثال هر چهار دستگاه کامیون‌هایی که در سایت دانه‌بندی تخلیه بار انجام می‌دهند، مستقیماً به جبهه کار A بازگشته و در آن محل مجدداً بارگیری خواهند شد. در شکل ۵-۸ نمایی از مسیرهای برگشت بهینه به صورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل ۵-۸- مسیرهای بهینه برگشت

کامیون‌هایی که در محل دستگاه پیش‌فرآوری شماره ۸ تخلیه بار انجام می‌دهند با طی مسیر رمپ از همان نقطه بار دریافت کرده و به سمت انباشت‌گاه باطله خواهند رفت. در هر ساعت مفید شیفت یک ماشین که حاصل آن ۲۰ تن سنگ آهن پیش‌فرآوری شده است به سایت دانه‌بندی انتقال داده خواهد شد.

مقدار تابع هدف در این شرایط برای مسیرهای برگشت بهینه،  $481/4$  دقیقه است. با توجه به زمان مسیرهای رفت، و زمان‌های مورد نیاز برای تخلیه و بارگیری، در بخش بعد تعداد کامیون‌های مورد نیاز محاسبه شده است.

### ۵-۸- تعداد کامیون مورد نیاز در چرخه کاری

با توجه به زمان مسیرهای طی شده طبق الگو و مدل ارائه شده برای مسیرهای رفت و برگشت، مجموع کل زمان لازم برای توزیع بار، تقسیم بر ساعت مفید شیفت (۵۰ دقیقه) تعداد کامیون‌هایی که لازم است تا در این مدت این فرآیند را انجام دهند، محاسبه شده است.

مجموع زمان طی شدن مسیرها توسط کامیون‌های پر از جدول ۵-۴ به همراه تعداد دفعات بارگیری در جدول ۵-۱۶ آورده شده است:

جدول ۵-۱۷- مجموع زمان مورد نیاز برای طی شدن مسیر رفت از نقاط عرضه به نقاط تقاضا بر حسب دقیقه

بارکننده نام محل	مجموع زمان طی مسیر	محل‌های تخلیه بار				جمع کل
		۷	۸	$R_1$	S	
A بیل ۸۰۰	۶۴/۲۲	۱۰	-	-	-	۱۰
B لودر	۳۲/۷۱	۴	۱	-	-	۵
C لودر	۴۰/۸۰	۶	-	-	-	۶
D بیل ۸۰۰	۱۹/۸۴	-	۱۰	-	-	۱۰
E لودر	۱۵/۶۲	-	۹	-	-	۹
۷ دستگاه پیش‌فرآوری	۱۸۸/۰۵	-	-	۱۸	۲	۲۰
۸ دستگاه پیش‌فرآوری	۲۰۰/۴۵	-	-	۱۸	۲	۲۰
جمع زمان مورد نیاز برای طی شدن مسیر کامیون‌ها بر در مسیر رفت: ۵۶۱/۶۹		جمع کل تعداد دفعاتی که بارگیری باید انجام شود:				۸۰

مجموع زمان‌های مورد نیاز با توجه به کوتاه‌ترین مسیرهای انتخاب شده برای کامیون‌های خالی از نقاط تخلیه بار به محل‌های بارگیری در جبهه‌کارها و خروجی دستگاه‌های پیش‌فراوری در بخش قبل محاسبه شده است که مقدار آن ۴۸۱/۴ دقیقه است.

در جدول ۵-۱۷ کل زمان‌های مورد نیاز برای عملیات آورده شده است. تمام مسیرهای رفت و برگشت براساس الگوریتم‌ها و مدل‌های ارائه شده بهینه‌سازی شده‌اند و این اعداد حاصل نتایج حداقل زمان و فاصله ممکن است.

جدول ۵-۱۸- کل زمان‌های مورد نیاز برای چرخه کامل بارگیری، باربری و تخلیه بار برحسب دقیقه

فعالیت	نحوه محاسبه	زمان
کل زمان مورد نیاز برای طی کردن مسیرهای رفت	جدول ۵-۱۶	۵۶۱/۶۹
کل زمان مورد نیاز برای طی کردن مسیرهای برگشت	مدل تعیین مسیر برگشت	۴۸۱/۴
کل زمان صرف شده برای بارگیری کامیون‌ها	$۲ \times ۸۰$	۱۶۰
کل زمان صرف شده برای تخلیه کامیون‌ها	$۰/۵ \times ۸۰$	۴۰
جمع کل		۱۲۴۳/۰۹

پس مجموع زمان لازم برای انجام فعالیت‌های مذکور ۱۲۴۳/۰۹ دقیقه محاسبه شده است.

چرخه مورد مطالعه یک ساعت است، در بیشتر مواقع تأخیرهای غیرقابل پیش‌بینی موجب از کار افتادن و عقب ماندگی فعالیت‌ها در بازه زمانی مورد نظر شده، به همین دلیل چرخه کاری ۵۰ دقیقه در نظر گرفته شده است که با در نظر گرفتن آن تعداد کامیون مورد نیاز برای انجام این چرخه محاسبه شده است:

$$\text{تعداد کامیون} = \left\lceil \frac{\text{کل زمان برای اجرای پروژه}}{\text{ساعات مفید شیفت}} \right\rceil + 1 = \left\lceil \frac{1243/09}{50} \right\rceil + 1 = 25$$

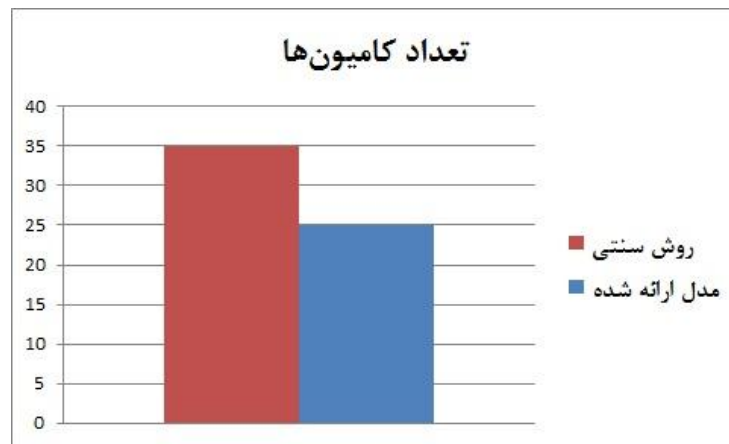
با توجه به مقدار بدست آمده ۲۵ کامیون ۲۰ تنی مورد نیاز است تا این روند به صورت کامل و تمام ۸۰۰ تن کانسنگ استخراجی از جبهه‌کارها به دستگاه‌های پیش‌فراوری و پس از جداسازی به انباشتگاه باطله و سایت دانه‌بندی با حداقل هزینه و زمان ممکن انتقال داده شوند.

## ۵-۹- ارزیابی مدل ارائه شده و مقایسه نتایج با شرایط پیشین

علاوه بر اینکه تعداد کامیون‌های مورد استفاده در چرخه باربری کمینه شده است، در پرداخت هزینه‌های باربری نیز به علت کوتاه‌تر شدن مسیرها و همچنین با در نظر گرفتن برخی هزینه‌های جانبی مربوط به عملیات باربری، صرفه جویی شده است و در مجموع کاهش هزینه‌های کلی در بخش ترابری معدن به چشم می‌خورد.

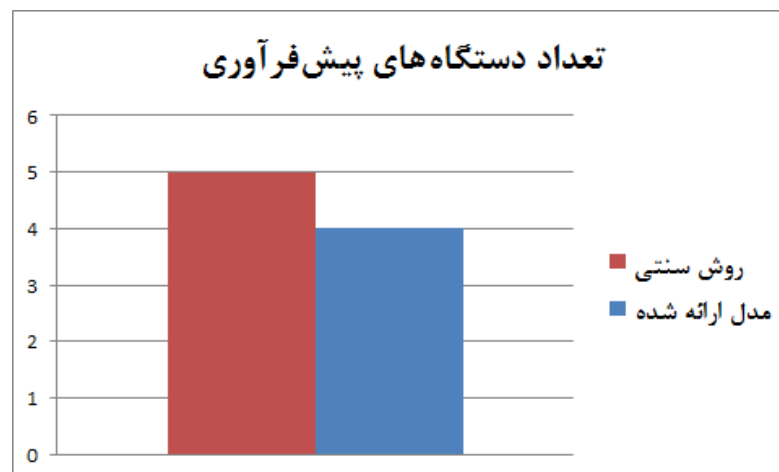
در حالت سنتی استخراج معدن، برای تولید ساعتی ۸۰ تن سنگ آهن در معدن مورد مطالعه ۳۵ عدد کامیون در چرخه باربری فعال بوده و زمان‌های بسیار زیادی برای منتظر ماندن کامیون‌ها در صف برای تخلیه و بارگیری اتلاف می‌شود، این در حالی است که با اجرای مدل ارائه شده تعداد کامیون‌های مورد نیاز برای همان تولید ۲۵ عدد محاسبه شده است. به عبارت دیگر، کاهش ۲۸/۵۷ درصدی میزان استفاده از کامیون‌ها را نشان می‌دهد.

همچنین در شرایط سنتی برای هر جبهه‌کار یک دستگاه پیش‌فرآوری به طور ثابت در نظر گرفته می‌شود. در مدل ارائه شده با توجه به حذف زمان‌های انتظار کامیون‌ها و تخصیص مناسب آن‌ها، زمان‌های انتظار دستگاه‌های پیش‌فرآوری به حداقل رسیده و با ۴ دستگاه، نیاز جداسازی ۸۰۰ تن در ساعت خاک برطرف شده است. پس در به کار بردن دستگاه‌های پیش‌فرآوری نیز یک دستگاه از چرخه مورد نیاز کاسته شده است. در شکل ۵-۹ کاهش تعداد کامیون‌های مورد نیاز در بخش ترابری معدن پاریسیان که مورد مطالعه این پژوهش قرار داشت با روش سنتی مقایسه شده است.



شکل ۵-۹- مقایسه تعداد کامیون‌های مورد نیاز در شرایط سنتی و حل مدل ارائه شده

در شکل ۵-۱۰ تعداد دستگاه‌های مورد استفاده برای جداسازی باطله از آهن در شرایط سنتی و حل مدل ارائه شده مقایسه شده است.



شکل ۵-۱۰- مقایسه تعداد دستگاه‌های پیش‌فرآوری مورد نیاز

## فصل هشتم:

نتیجہ گیری و پیشہ دات

## ۶-۱- نتیجه‌گیری

کارایی روش روباز به ماشین‌آلات و به خصوص به ماشین‌آلات حمل و نقل وابسته است. سیستم حمل و نقل که به تنهایی ۴۵ تا ۶۰ درصد هزینه‌های عملیاتی و سرمایه‌ای معادن روباز را تشکیل می‌دهد، می‌تواند اقتصادی بودن یک معدن را به خطر اندازد و یا حداقل سبب شود که بخشی از ذخیره‌ی قابل استخراج معدن به ذخیره‌ی غیر قابل استخراج تبدیل شود. سیستم بارگیری و حمل کامیون سیستمی است که در بیش از ۸۰ درصد معادن روباز استفاده می‌شود. معادن روباز به گونه‌ای استخراج می‌شوند که فقط کامیون‌ها قابلیت انطباق کامل با این روش را دارند. امروزه با توجه به هزینه‌های زیاد معدن و کاهش قیمت‌های فروش، تلاش معدن‌کاران در جهت بهینه‌سازی روش‌های استخراجی افزایش پیدا کرده است.

به کارگیری صحیح سیستم ترابری و بهینه‌سازی آن بسیار حائز اهمیت است. بهینه‌سازی سیستم ترابری مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است، اما بیشتر مطالعات در زمینه کاهش زمان‌های انتظار برای دستگاه‌های بارگیری و بارکننده بوده است. تغییر محل‌های بارگیری در معادن پلاسری امری تکرار شدنی است و با توجه به معیارها و اهداف تولید و فروش ماده معدنی تغییر پذیر است. همچنین دستگاه‌های پیش‌فرآوری برای جداسازی اولیه خاک، قابلیت نصب در محل‌های مختلفی را دارد. همچنین برای بهینه‌سازی سیستم ترابری از روش‌های مختلفی در علم تحقیق در عملیات استفاده شده است. استفاده از روش‌های ابتکاری در معادن کوچک با شرایط مخصوص به خود، نتایج بهتری در اختیار پژوهشگران قرار داده است.

در این پژوهش یک روش برای تعیین مکان مناسب نصب دستگاه‌های پیش‌فرآوری با توجه به حداقل کردن هزینه‌ها در کل سیستم ترابری ارائه شد. در این انتخاب که هدف اصلی حداقل کردن هزینه‌های انتقال بار و جداسازی آن بوده است، عوامل دیگری مانند هزینه‌های عملیاتی دستگاه‌های در حال کار، هزینه‌های پرداختی سوخت و ... نیز تأثیر داشته است. برای اثبات کارایی مدل ارائه شده، از آن برای تعیین مکان بهینه دستگاه‌های پیش‌فرآوری در معدن پارسیان استفاده شد.



برای تعیین مکان‌های بهینه دستگاه‌های پیش‌فراوری در نظر گرفتن تابع هزینه حمل کامیون‌ها و برحسب مسافت الزامی است. برای حل مدل از محیط برنامه نویسی Visual Studio با زبان ++C نوشته شد که به کمک حل‌کننده CPLEX تعیین مکان بهینه انجام شد.

با این روش مسیرهای بهینه نیز تعیین شد. سپس مدلی برای تعیین مسیرهای برگشت بهینه براساس کوتاه‌ترین مسیرها ارائه شد و با تخصیص دادن کامیون‌ها به مکان‌های بارگیری چرخه باربری تکمیل شد. براساس این چرخه با احتساب مجموع زمان‌های لازم برای انجام کل بارگیری، باربری در مسیر رفت، باربری در مسیر برگشت و تخلیه، تعداد کامیون‌های مورد نیاز بدست آمد. تعداد کامیون‌ها در مقایسه با استخراج تناژ مورد نظر به روش سنتی، ۱۰ عدد کاهش داشته است که این کاهش تعداد، همراه با کاهش هزینه‌های پرداختی مدیریت معدن، برای سیستم حمل و نقل به پیمانکار، بسیار حائز اهمیت است.

دیگر نتایج حاصل از این تحقیق به شرح زیر است:

- با اجرای این مدل به دلیل تخصیص ندادن ثابت هر دستگاه پیش‌فراوری به هر جبهه‌کار، و با در نظر گرفتن توان جداسازی دستگاه‌ها در واحد زمان، علاوه بر کمینه‌سازی زمان بی‌بار بودن دستگاه‌ها، با مدیریت زمان، یک دستگاه از تعداد دستگاه‌های مورد نیاز در مقایسه با روش سنتی کاسته شده است.
- با اجرای این مدل پس از تغییر احتمالی مکان‌ها و تغییر فواصل بین نقاط انتخابی در هر زمان امکان تعیین محل مناسب برای دستگاه‌های پیش‌فراوری وجود دارد.
- با به کارگیری مدل جانمایی، می‌توان با پرداخت هزینه کمتری برای سیستم حمل و نقل به هدف تولید تعیین شده دست پیدا کرد.

## ۶-۲- پیشنهادات

به منظور استفاده گسترده‌تر از الگوریتم‌های بهینه‌سازی در سیستم‌های ترابری پیشنهاداتی ارائه شده است که منجر به افزایش کاربرد آن‌ها خواهد شد:

- مدل ارائه شده برای کامیون‌های ۲۰ تن در نظر گرفته شده است. با توجه به یکسان نبودن شرایط و ماشین‌آلات در معادن دیگر، می‌توان با استفاده از الگوریتم‌های ابتکاری و یا فراابتکاری دیگر، ظرفیت ماشین‌آلات را متفاوت در نظر گرفت و تخصیص را با توجه به تناژ انجام داد.
- در ادامه این تحقیق می‌توان با به‌کارگیری الگوریتم‌های گسیل لحظه‌ای تمام اتوماتیک هر رویداد درون شبکه ترابری را کنترل کرد و در ادامه مسیر بهینه‌سازی گام برداشت.
- مدل ارائه شده برای شرایط خاص معدن مورد مطالعه در نظر گرفته شده است، با توسعه مدل می‌توان هزینه‌های جانبی معدن مانند، حقوق پرسنل و هزینه‌های خرید اولیه معدن را در مدلی برای تصمیم‌گیری جامع‌تر بررسی کرد.

## منابع فارسی

- آذر ع.، (۱۳۸۵) مفاهیم و کاربردهای برنامه‌ریزی خطی، سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی و دانشگاه‌ها.
- اصلی ح.، (۱۳۹۴)، طرح جامع ساماندهی فرآوری در معادن پلاستی سنگان، گزارش نظارت بر معادن وزارت صنعت، معدن و تجارت کشور
- پریچه م.، (۱۳۹۳)، امکان به کارگیری سیستم نوار نقاله و سنگ شکن درون معدنی (IPCC) در معادن روباز تحت شرایط عدم قطعیت تولید، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- چهره فانی س.، فاروق حسینی، م. و خدایاری، ع.ا. (۱۳۸۴)، مدل تخصیص و گسیل بهینه کامیون در سامانه ترابری معدن مس سرچشمه، پنجمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت.
- ستاروند ج.، (۱۳۸۰)، استفاده از مدل‌های تحقیق در عملیات برای بهینه‌سازی عملیات ترابری شاول-کامیون، اولین کنفرانس دانشجویی مهندسی معدن، ۲۶-۳۳
- سعیدی ا.ع.، (۱۳۸۵)، کاربرد کامپیوتر در مهندسی صنایع (Excel و CPLEX)، سمینار کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف.
- شناور م.، (۱۳۹۴) طرح جامع معادن پلاستی سنگ‌آهن سنگان، گزارش مدیریت نظارت بر معادن وزارت صنعت، معدن و تجارت کشور
- طوسی (۱۳۸۳)، گزارش نهایی اکتشاف سنگ‌آهن پلاستی سنگان خواف.
- عمارلو ا.، (۱۳۹۳)، ارزیابی بهره‌وری سیستم ترابری معدن سنگ آهن چادرملو با استفاده از روش‌های کنترل آماری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
- عطائی م.، (۱۳۹۳)، برنامه‌ریزی خطی و کاربردهای آن (برای مهندسی معدن)، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.
- کریم‌پور ج. و اشکوری م.، (۱۳۹۲)، توزیع بهینه کامیون‌ها در معادن روباز به کمک الگوریتم ژنتیک، نهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی معدن ایران، دانشگاه بیرجند.
- هارتمن، (۱۹۸۷)، اصول مهندسی معدن، ترجمه مهدی یآوری، انتشارات دانشگاه صنایع و معادن ایران.
- مهرگان م. ر.، (۱۳۷۸)، پژوهش‌های عملیاتی، سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی و دانشگاه‌ها.
- یآوری م.، سکاکی ح. و شناور م. (۱۳۸۳)، طرح سیستم نیمه اتوماتیک گسیل لحظه ای کامیون با استفاده از GPS و بیسیم در معادن روباز ایران، کنفرانس مهندسی معدن ایران، تهران، دانشگاه تربیت مدرس.

## منابع لاتین

- Aiex R.M., Resende M.G.C., Pardalos P.M. and Toraldo G., (2005), GRASP with Path Relinking for Three-Index Assignment, *INFORMS Journal on Computing* , Vol 17 ,No. 2 ,pp. 224-247.
- Alarie S. and Gamache M., (2002), Overview of Solution Strategies Used in Truck Dispatching Systems for Open Pit Mines, *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 16: 1, 59 – 76.
- Bongartz I. and Calami P.H., (1994), A Projection method for lp norm location-allocation problem, *Math Programming*, 66: p. 283-312.
- Brimberg J. and Mladenovic N., (1996), Solving the continuous location-allocation problem with Tabu search, *Stud. Location Anal.* 8: p. 23-32.
- Brimberg J., Hansen P., Mladenović N. and Taillard, ED., (2000), Improvements and Comparison of Heuristics for Solving the Uncapacitated Multisource Weber Problem, *Operations Research*, 48: p. 444-460.
- Burkard R.E., Dell'Amico M. and Martello S., (2009) *Assignment Problems*, Society for Industrial and Applied Mathematics.
- Burkard R.E., Rudolf R. and Woeginger G.J., (1996), Three-dimensional axial assignment problems with decomposable cost coefficients, *Discrete Applied Mathematics*, Vol 65, pp. 123-139.
- Burt C.N., (2008), An optimisation approach to materials handling in surface mines, PHD Thesis, Curtin University of Technology.
- Castilo D. and Cochran J.K., (1987), A Microcomputer Approach for Simulating Truck Haulage Systems in Open Pit Mining, *Computers in Industry* 8, 37-47.
- Chung TA H., Ingolfsson A. and Doucette J., (2013), A linear model for surface mining haul truck allocation incorporating shovel idle probabilities, *European Journal of Operational Research* 231, 770–778.
- Chung TA H., Kresta J.V., Forbes J.F. and Marzuez H.J., (2005), A stochastic optimization approach to mine truck allocation, *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment* Vol. 19, No. 3, 162 – 175.
- Cooper L., (1963), Location-Allocation Problems, *Operations Research*, 11: p. 331-343.
- Crama Kolen A.W.J., Oerlemans A.G. and Spieksma, F.C.R. (1990), Throughput rate optimization in the automated assembly of circuit boards, *Annals of Operations Research*, Vol 26, p. 455–480.
- Eilon S., Watson-Gandy C.D.T. and Christofides N., (1971), *Distribution Management*, New York: Hafner.

- Elbrond J. and Soumis, F. (1987), Towards integrated production planning and truck dispatching in open pit mines, *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, 1:1, 1-6.
- Frieze A.M and Yadegar J., (1981), An algorithm for solving 3-dimensional assignment problems with application to scheduling a teaching practice ”, *Journal of Operational Research Society*, Vol. 32, P. 989–995.
- Frieze A.M. (1974), A bilinear programming formulation of the 3-dimensional assignment problem, *Mathematical Programming*, Vol. 7, pp. 376-379.
- GAMS (2015), User’s Manual.
- Garey M.R. and D.S. Johnson (1979), *Computers and Intractability – A Guide to the Theory of NP-Completeness*, W. H. Freeman and Company.
- Goossens D., Polyakovskiy S., Spieksma F.C.R. and Woeginger G.J., (2010), The approximability of three-dimensional assignment problems with bottleneck objective, *Optim. Lett*, Vol 4, pp. 7-16.
- Hashemi A. and Sattarvand J., (2015), Application of ARENA Simulation Software for Evaluation of Open Pit Mining Transportation Systems, Proc. of the 12th Int. Symp Continuous Surface Mining.
- Huang G. and Lim A., (2006), A hybrid genetic algorithm for the Three-Index, *European Journal of Operational Research* , Vol 172, p. 249–257.
- ILOG (2008), CPLEX 11.0, User’s Manual.
- Krause A. and Musingwini C., (2007), Modelling open pit shovel-truck systems using the Machine Repair Model, *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, VOLUME 107.
- Kuenne R.E. and Solland R.M., (1972), Exact and Approximate Solutions to the Multisource Weber Problem, *Mathematical Programming*, 3: p. 193–209.
- Lizotte Y. and Bonates, E. (1987), Truck And Shovel DISPATCHING RULES ASSESSMENT USING SIMULATION, *Mining Science and Technolog*, 5, 45-58.
- Love R.F. and Juel H., (1982), Properties and Solution Methods for Large Location Allocation Problems, *Journal of the Operational Research Society*, 33: p. 443-452.
- Love R.F., Morris J.G and Wesolowsshy G.O., (1988), *facilities Layout and Location: Models & Methods*, New York: North-Holland.
- Markovic N., Drobnjak Z. and Schonfeld, P. (2014), Dispatching trucks for drayage operations, *Transportation Research Part E* 70, 99–111.
- Ohlemuller M., (1997), Tabu Search for Large Location-Allocation Problems, *Journal of the Operational Research Society*, 48: p. 745-750.

- Pierskalla W.P., (1968), The multidimensional assignment problem, *Operations Research*, Vol. 16, p. 422–431.
- Reddy A., (2013), Shortest Path using Dijkstra's and A\* Algorithm, *Computer Science*, Indiana State University.
- Resende G.C. and Renato F.W., (2004), A Fast Swap-based Local Search Procedure for Location Problems, *AT&T Labs Research*: NJ.
- Robertson A.J., (2001) A Set of Greedy Randomized Adaptive Local Search Procedure (GRASP) Implementations for the Multidimensional Assignment Problem, *Computational Optimization and Applications*, 19, 145–164.
- Sgurev V., Vassilev V., Dokev N., Genova K., Drangajov S., Korsemov Ch. and Atanassov A., (1989), *European Journal of Operational Research* 43, 44-52
- Temeng V.A., Otuonye F.O. and Frendewey J.O., (1997), Real-time truck dispatching using a transportation algorithm, *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, 11:4, 203-207.
- Townsend W., (1986), An Application of the Assignment Model to Bos Crew Rostering”, *IMA Journal of Mathematics in Management* , Vol 1 , pp .45-52.
- Vergara H.A. and Root S. (2013), Mixed fleet dispatching in truckload relay network design Optimization, *Transportation Research Part E* 54, 32–49.
- Vogiatzis C., Pasiliao E.L. and Pardalos P.M., (2014), Graph partitions for the multidimensional assignment Problem, *Computer Optimization Application*, Vol. 58, pp. 205-224.
- Wells J.H., (1969), *Placer Examination- principle and practice*, U.S. Department of the Interior Bureau of Land Management.
- Whitaker R., (1983), A fast algorithm for the greedy inter-change of large-scale clustering and median location problems, *INFOR*. 21: p. 95-108.
- Xi Y. and Yegulalp T.M., (1994), Optimum dispatching algorithm for Anshan open-pit mine, *APCOM Proceedings* 24, pp 426-433.
- YUKON Government publication, (2005), *Energy, Mines & Resources, Modern DAY placer Mining In The Yukon*. printed by Whitehorse, Yukon.

پیوست ۱: کد نوشته شده در برنامه Visual Studio 2010 برای الگوریتم دایجسترا

```
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <conio.h>
#include <iostream>
#include <time.h>
#include <iomanip>
using namespace std;
int i , j , k , Nodes , NEdges;
float **Dist;
void Shortset_Path() //Shortest Path Between All Pair Of Nodes;
{
    //int i , j , k , l;
    for (k=1;k<Nodes+1;k++){
        for (i=1;i<Nodes+1;i++){
            if(i==k)
                continue;
            for( j=1;j<Nodes+1;j++){
                if(i==j||j==k)
                    continue;
                if ( Dist[i][k]+Dist[k][j] < Dist[i][j])
                    Dist[i][j] = Dist[i][k]+Dist[k][j];
            }
        }
    }
    for(i=0;i<Nodes+1;i++)
        Dist[i][i] = 0;
    FILE *Output;
    Output = fopen("Output.txt" , "w");
    for(i=1;i<Nodes+1;i++){
        for(j=1;j<Nodes+1;j++)
            fprintf(Output,"%f\t",Dist[i][j]);
        fprintf(Output,"\n");
    }
}

void main (void) {
    FILE *Input;
    Input = fopen ("Input.txt", "r");
    fscanf(Input,"%d",&Nodes);
    fscanf(Input,"%d",&NEdges);
    Dist = new float *[Nodes+1];
    for(i=0;i<Nodes+1;i++)
        Dist[i] = new float[Nodes+1];
    for(i=0;i<Nodes+1;i++){
        for(j=0;j<Nodes+1;j++)
            Dist[i][j] = 10000000000;
    }
    for(i=1;i<NEdges+1;i++){
        fscanf(Input,"%d",&j);
        fscanf(Input,"%d",&k);
        fscanf(Input,"%f",&Dist[j][k]);
        Dist[k][j] = Dist[j][k];
    }
    Shortset_Path();
}
```

## پیوست ۲: کد نوشته شده در برنامه Visual Studio 2010 برای جانمایی دستگاه‌های

### پیش‌فراوری

```
#include <ilcplex/cplex.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <conio.h>
#include <iostream>
#include <time.h>
#include <iomanip>
using namespace std;

float **Distance , **Distance2 , **TCFD , *L , CostOperator, CostTraveling ;
int NoMadan , NoFaravari, NoExternal, P, CPXEnv;
float StartTime ,EndTime ;

#define MAXCONS 500000000 // Maximum number
of constraints
#define MAXNZ 400000000 // Maximum number of non-zeros
in the constraints pool
#define BigM 100000000

CPXENVptr env = NULL;
CPXLPptr lp = NULL;

float second() {
    return((float )clock()/(float)CLK_TCK);
}

void ModelPopulate() {

    char errmsg[1024];
    long status;
    int i,j,k,l,w,r;
    int counter;

    char sense[1];
    char *coltype;
    long constraints,nzcnt,numcols,numrows;
    int **yPtr, **wPtr, *vPtr;
    int *rmatbeg,*rmatind;
    double **xPtr, **zPtr,*rhs,*rmatval, *lb,*ub,*OperationCost;
    double *obj, *X_Cplex, objval;

    // Allocate temporary CPLEX data structures
    rhs = new double [2];
    if (rhs == NULL) {
        printf ("could not allocate memory for obj.\n");
        exit (-1);
    }
    rmatval = new double [100000];
    if (rmatval == NULL) {
        printf ("could not allocate memory for obj.\n");
        exit (-1);
    }
}
```



```

rmatbeg      = new int [2];
if (rmatbeg == NULL) {
    printf ("could not allocate memory for obj.\n");
    exit (-1);
}

rmatind      = new int [100000];
if (rmatind == NULL) {
    printf ("could not allocate memory for obj.\n");
    exit (-1);
}
obj          = new double [100000];
if (obj==NULL) {
    printf ("could not allocate memory for obj.\n");
    exit (-1);
}

lb           = new double [100000];
if (lb==NULL) {
    printf ("could not allocate memory for lb.\n");
    exit (-1);
}

ub           = new double [100000];
if (ub==NULL) {
    printf ("could not allocate memory for ub.\n");
    exit (-1);
}

coltype = new char [100000];
if (coltype==NULL) {
    printf ("could not allocate memory for coltype.\n");
    exit (-1);
}

xPtr= new double *[NoMadan];
    for(i = 0; i<NoMadan+1 ; i++)
        xPtr[i] = new double [NoFaravari+1];
if (xPtr == NULL) {
    printf ("could not allocate memory for colname.\n");
    exit (-1);
}
yPtr = new int *[NoFaravari+1];
for(i = 0; i<NoFaravari+1; i++)
    yPtr[i] = new int [P+1];
if (yPtr == NULL) {
    printf ("could not allocate memory for colname.\n");
    exit (-1);
}

zPtr= new double *[NoFaravari];
    for(i = 0; i<NoFaravari+1 ; i++)
        zPtr[i] = new double [NoExternal+1];
if (zPtr == NULL) {
    printf ("could not allocate memory for colname.\n");
    exit (-1);
}

wPtr= new int *[NoFaravari];
    for(i = 0; i<NoFaravari+1 ; i++)
        wPtr[i] = new int [NoExternal+1];

```

```

if (wPtr == NULL) {
    printf ("could not allocate memory for colname.\n");
    exit (-1);
}

vPtr = new int [NoFaravari+1];
if (vPtr == NULL) {
    printf ("could not allocate memory for colname.\n");
    exit (-1);
}

counter = 0;
for(i = 1; i<NoMadan+1 ; i++) {
    for(j = 1; j < NoFaravari+1 ; j++){

        lb[counter]                = 0;
        ub[counter]                = 1;
        obj[counter]               = Distance[i][j] * L[i];
        //obj[counter]              = Distance[i][j];
        coltype[counter++]         = 'C';
        xPtr[i][j]                 = numcols++;
    }
}

for(j = 1; j < NoFaravari+1 ; j++){
    for(l = 1; l<P+1 ; l++) {
        lb[counter]                = 0;
        ub[counter]                = 1;
        obj[counter]               = 0;
        coltype[counter++]         = 'B';
        yPtr[j][l]                 = numcols++;
    }
}

for(j = 1; j<NoFaravari+1 ; j++) {
    for(r = 2; r < NoExternal+1 ; r++){

        lb[counter]                = 0;
        ub[counter]                = BigM;
        obj[counter]               = TCFD[j][r] + (TCFD[j][1])/9;
        //obj[counter]              = Distance2[j][r] +
(Distance2[j][1])/9;
        coltype[counter++]         = 'C';
        zPtr[j][r]                 = numcols++;
    }
}

for(j = 1; j<NoFaravari+1 ; j++) {
    for(r = 1; r < NoExternal+1 ; r++){

        lb[counter]                = 0;
        ub[counter]                = BigM;
        obj[counter]               = 0;
        coltype[counter++]         = 'C';
        wPtr[j][r]                 = numcols++;
    }
}

for(j = 1; j < NoFaravari+1 ; j++){

```

```

        lb[counter]          = 0;
        ub[counter]          = 1;
        obj[counter]         = 0;
        coltype[counter++]   = 'B';
        vPtr[j]              = numcols++;
    }

    for(j = 1; j < NoFaravari+1 ; j++){

        lb[counter]          = 0;
        ub[counter]          = BigM;
        obj[counter]         = 1;
        coltype[counter++]   = 'C';
        OperationCost[j]     = numcols++;
    }

    status = CPXnewcols(env,lp,counter,obj,lb,ub,coltype,NULL);
    if (status) {
        CPXgeterrorstring (env, status, errmsg);
        printf("%s", errmsg);
        exit(-1);
    }

    constraints=0;
    //////////// Constraints set (1)
    for( i =1; i < NoMadan+1; i++) {
        constraints += 1;
        nzcnt       = 0;
        rhs[0]       = 1;
        sense[0]     = 'E';
        rmatbeg[0]   = 0;
        for (j = 1; j < NoFaravari+1; j++) {
            if (xPtr[i][j] >= 0) {
                rmatind[nzcnt] = xPtr[i][j];
                rmatval[nzcnt++] = 1;
            }
        }

        if (nzcnt >= MAXNZ) {
            sprintf(errmsg, "MAXNZ exceeded, constraint n. %d
\n",constraints);
            printf("%s", errmsg);
            exit(-1);
        }

        rmatbeg[1] = nzcnt;
        if (nzcnt > 0) {
            status =
CPXaddrows(env,lp,0,1,nzcnt,rhs,sense,rmatbeg,rmatind,rmatval,NULL,NULL);
            if (status) {
                CPXgeterrorstring (env, status, errmsg);
                printf("%s", errmsg);
                exit(-1);
            }
        }
    }

    }

    //////////// Constraints set (2)
    for( j =1; j < NoFaravari+1; j++) {
        constraints += 1;

```

```

nzcnt          = 0;
rhs[0]         = 0;
sense[0]       = 'L';
rmatbeg[0]     = 0;
for (i = 1; i < NoMadan+1; i++) {
    if (xPtr[i][j] >= 0) {
        rmatind[nzcnt] = xPtr[i][j];
        rmatval[nzcnt++] = L[i];
    }
}
for(l=1;l<3;l++){
    if (yPtr[j][l] >= 0) {
        rmatind[nzcnt] = yPtr[j][l];
        rmatval[nzcnt++] = -200*l;
    }
}
if (nzcnt >= MAXNZ) {
    sprintf(errmsg,"MAXNZ exceeded, constraint n. %d
\n",constraints);
    printf("%s", errmsg);
    exit(-1);
}

rmatbeg[1] = nzcnt;
if (nzcnt > 0) {
    status =
CPXaddrows(env,lp,0,1,nzcnt,rhs,sense,rmatbeg,rmatind,rmatval,NULL,NULL);
    if (status) {
        CPXgeterrorstring (env, status, errmsg);
        printf("%s", errmsg);
        exit(-1);
    }
}

}
////////// Constraints set (3)
constraints += 1;
nzcnt          = 0;
rhs[0]         = P;
sense[0]       = 'E';
rmatbeg[0]     = 0;
for( j =1; j < NoFaravari+1; j++) {
    for(l=1;l<P+1;l++){
        if (yPtr[j][l] >= 0) {
            rmatind[nzcnt] = yPtr[j][l];
            rmatval[nzcnt++] = 1;
        }
    }
}
if (nzcnt >= MAXNZ) {
    sprintf(errmsg,"MAXNZ exceeded, constraint n. %d \n",constraints);
    printf("%s", errmsg);
    exit(-1);
}

rmatbeg[1] = nzcnt;
if (nzcnt > 0) {
    status =
CPXaddrows(env,lp,0,1,nzcnt,rhs,sense,rmatbeg,rmatind,rmatval,NULL,NULL);
    if (status) {
        CPXgeterrorstring (env, status, errmsg);
        printf("%s", errmsg);
    }
}

```

```

        exit(-1);
    }
}

////////// Constraints set (4)
for( j =1; j < NoFaravari+1; j++) {
    constraints += 1;
    nzcnt      = 0;
    rhs[0]     = 0;
    sense[0]   = 'E';
    rmatbeg[0] = 0;
    for ( i = 1; i < NoMadan+1; i++) {
        if (xPtr[i][j] >= 0) {
            rmatind[nzcnt] = xPtr[i][j];
            rmatval[nzcnt++] = 0.9*L[i];
        }
    }

    for ( r = 2; r < NoExternal+1; r++) {
        if (zPtr[j][r] >= 0) {
            rmatind[nzcnt] = zPtr[j][r];
            rmatval[nzcnt++] = -1;
        }
    }

    if (nzcnt >= MAXNZ) {
        sprintf(errmsg, "MAXNZ exceeded, constraint n. %d
\n",constraints);
        printf("%s", errmsg);
        exit(-1);
    }

    rmatbeg[1] = nzcnt;
    if (nzcnt > 0) {
        status =
CPXaddrows(env,lp,0,1,nzcnt,rhs,sense,rmatbeg,rmatind,rmatval,NULL,NULL);
        if (status) {
            CPXgeterrorstring (env, status, errmsg);
            printf("%s", errmsg);
            exit(-1);
        }
    }
}

////////// Constraints set (5)
for( j =1; j < NoFaravari+1; j++) {
    constraints += 1;
    nzcnt      = 0;
    rhs[0]     = 0;
    sense[0]   = 'L';
    rmatbeg[0] = 0;

    for(l=1;l<P+1;l++){
        if (yPtr[j][l] >= 0) {
            rmatind[nzcnt] = yPtr[j][l];
            rmatval[nzcnt++] = 1;
        }
    }

    if (vPtr[j] >= 0) {
        rmatind[nzcnt] = vPtr[j];
    }
}

```

```

        rmatval[nzcnt++] = -BigM;
    }

    if (nzcnt >= MAXNZ) {
        sprintf(errmsg, "MAXNZ exceeded, constraint n. %d
\n", constraints);
        printf("%s", errmsg);
        exit(-1);
    }

    rmatbeg[1] = nzcnt;
    if (nzcnt > 0) {
        status =
CPXaddrows(env, lp, 0, 1, nzcnt, rhs, sense, rmatbeg, rmatind, rmatval, NULL, NULL);
        if (status) {
            CPXgeterrorstring (env, status, errmsg);
            printf("%s", errmsg);
            exit(-1);
        }
    }
}

////////// Constraints set (6)
for( j =1; j < NoFaravari+1; j++) {
    constraints +=1;
    nzcnt      = 0;
    rhs[0]     = 0;
    sense[0]   = 'E';
    rmatbeg[0] = 0;

    for( r =2; r < NoExternal+1; r++) {
        if (wPtr[j][r] >= 0) {
            rmatind[nzcnt] = wPtr[j][r];
            rmatval[nzcnt++] = 1;
        }
    }

    if (vPtr[j] >= 0) {
        rmatind[nzcnt] = vPtr[j];
        rmatval[nzcnt++] = -1;
    }

    if (nzcnt >= MAXNZ) {
        sprintf(errmsg, "MAXNZ exceeded, constraint n. %d
\n", constraints);
        printf("%s", errmsg);
        exit(-1);
    }

    rmatbeg[1] = nzcnt;
    if (nzcnt > 0) {
        status =
CPXaddrows(env, lp, 0, 1, nzcnt, rhs, sense, rmatbeg, rmatind, rmatval, NULL, NULL);
        if (status) {
            CPXgeterrorstring (env, status, errmsg);
            printf("%s", errmsg);
            exit(-1);
        }
    }
}

```

```

}

////////// Constraints set (7)
for( j =1; j < NoFaravari+1; j++) {
    for( r =2; r < NoExternal+1; r++) {
        constraints +=1;
        nzcnt        = 0;
        rhs[0]        = 0;
        sense[0]      = 'L';
        rmatbeg[0]    = 0;

        if (wPtr[j][r] >= 0) {
            rmatind[nzcnt] = wPtr[j][r];
            rmatval[nzcnt++] = -BigM;
        }

        if (zPtr[j][r] >= 0) {
            rmatind[nzcnt] = zPtr[j][r];
            rmatval[nzcnt++] = 1;
        }

        if (nzcnt >= MAXNZ) {
            sprintf(errmsg, "MAXNZ exceeded, constraint n. %d
\n",constraints);
            printf("%s", errmsg);
            exit(-1);
        }

        rmatbeg[1] = nzcnt;
        if (nzcnt > 0) {
            status =
CPXaddrows(env,lp,0,1,nzcnt,rhs,sense,rmatbeg,rmatind,rmatval,NULL,NULL);
            if (status) {
                CPXgeterrorstring (env, status, errmsg);
                printf("%s", errmsg);
                exit(-1);
            }
        }
    }
}

}

////////// Constraints set (8)
for( j =1; j < NoFaravari+1; j++) {
    l=1;
    constraints +=1;
    nzcnt        = 0;
    rhs[0]        = 1;
    sense[0]      = 'L';
    rmatbeg[0]    = 0;

    for( l=1; l< P+1; l++) {
        if (yPtr[j][l] >= 0) {
            rmatind[nzcnt] = yPtr[j][l];
            rmatval[nzcnt++] = 1;
        }
    }
}

```

```

        if (nzcnt >= MAXNZ) {
            sprintf(errmsg, "MAXNZ exceeded, constraint n. %d
\n", constraints);
            printf("%s", errmsg);
            exit(-1);
        }

        rmatbeg[1] = nzcnt;
        if (nzcnt > 0) {
            status =
CPXaddrows(env, lp, 0, 1, nzcnt, rhs, sense, rmatbeg, rmatind, rmatval, NULL, NULL);
            if (status) {
                CPXgeterrorstring (env, status, errmsg);
                printf("%s", errmsg);
                exit(-1);
            }
        }
    }

    //////////////// Constraints set (9)
    for( j =1; j < NoFaravari+1; j++) {
        //l=1;
        constraints +=1;
        nzcnt          = 0;
        rhs[0]         = -BigM;
        sense[0]       = 'G';
        rmatbeg[0]     = 0;

        if (OperationCost[j] >= 0) {
            rmatind[nzcnt] = OperationCost[j];
            rmatval[nzcnt++] = 1;
        }

        for( i=1; i< NoMadan+1; i++) {
            if (xPtr[i][j] >= 0) {
                rmatind[nzcnt] = xPtr[i][j];
                rmatval[nzcnt++] = -4000*L[i];
            }
        }

        if (yPtr[j][1] >= 0) {
            rmatind[nzcnt] = yPtr[j][1];
            rmatval[nzcnt++] = -BigM;
        }

        if (nzcnt >= MAXNZ) {
            sprintf(errmsg, "MAXNZ exceeded, constraint n. %d
\n", constraints);
            printf("%s", errmsg);
            exit(-1);
        }

        rmatbeg[1] = nzcnt;
        if (nzcnt > 0) {
            status =
CPXaddrows(env, lp, 0, 1, nzcnt, rhs, sense, rmatbeg, rmatind, rmatval, NULL, NULL);
            if (status) {

```



```

        CPXgeterrorstring (env, status, errmsg);
        printf("%s", errmsg);
        exit(-1);
    }
}

}

////////// Constraints set (10)
for( j =1; j < NoFaravari+1; j++) {
    for(l=2;l<P+1;l++){
        constraints +=1;
        nzcnt      = 0;
        rhs[0]     = -BigM;
        sense[0]   = 'G';
        rmatbeg[0] = 0;

        if (OperationCost[j] >= 0) {
            rmatind[nzcnt] = OperationCost[j];
            rmatval[nzcnt++] = 1;
        }

        for( i=1; i< NoMadan+1; i++) {
            if (xPtr[i][j] >= 0) {
                rmatind[nzcnt] = xPtr[i][j];
                rmatval[nzcnt++] = -3500*L[i];
            }
        }

        if (yPtr[j][1] >= 0) {
            rmatind[nzcnt] = yPtr[j][1];
            rmatval[nzcnt++] = -BigM;
        }

        if (nzcnt >= MAXNZ) {
            sprintf(errmsg,"MAXNZ exceeded, constraint n. %d
\n",constraints);
            printf("%s", errmsg);
            exit(-1);
        }

        rmatbeg[1] = nzcnt;
        if (nzcnt > 0) {
            status =
CPXaddrows(env,lp,0,1,nzcnt,rhs,sense,rmatbeg,rmatind,rmatval,NULL,NULL);
            if (status) {
                CPXgeterrorstring (env, status, errmsg);
                printf("%s", errmsg);
                exit(-1);
            }
        }
    }
}

numcols = CPXgetnumcols(env,lp);
numrows = CPXgetnumrows(env,lp);

X_Cplex = new double [numcols];

```

```

CPXcopytype (env, lp, coltype);
CPXwriteprob(env,lp,"model.lp",NULL);
status = CPXmipopt(env, lp);
if (status) {
    printf ("Failed to optimize LP.\n");
    getchar();
    exit(-1);
}

objval=0;
status = CPXgetmipobjval (env, lp, &objval);
if ( status ) {
    printf ("Failed to get the MIP objective value.\n");
    getchar();
    exit(-1);
}
EndTime = second();
cout<<objval<<"\t\t"<< EndTime-StartTime<<"\n\n\n\n\n" <<endl;
//SolutionExtraction(X_Cplex);

counter = 0;
FILE *Out;
Out=fopen("Out.txt","w");
fprintf(Out, "%s","X-variables:\n");
for (i = 1; i < NoMadan+1; i++) {
    for (j = 1; j < NoFaravari+1; j++) {
        if (X_Cplex[counter] > 0.01) {
            cout<<"X["<<i<<"]"<<"["<<j<<"]="<<
X_Cplex[counter]<<"\t" << endl;
        }
        counter = counter + 1;
    }
}

for(j = 1; j < NoFaravari+1 ; j++){
    for(l = 1; l<P+1 ; l++){
        if (X_Cplex[counter] > 0.5) {
            cout<<"Y["<<j<<"]="<<"["<<l<<"]="<<
X_Cplex[counter]<<"\t" << endl;
        }
        counter = counter + 1;
    }
}

// Deallocate memory used
if (obj      != NULL)      delete [] obj;
if (lb      != NULL)      delete [] lb;
if (ub      != NULL)      delete [] ub;
if (coltype != NULL)      delete [] coltype;
if (X_Cplex != NULL)      delete []X_Cplex;

}
void SolutionExtraction(double *X_Cplex) {
    //////////////////////////////////////
    //////////////////////////////////////

    //////////////////////////////////////
    //////////////////////////////////////
}

```

```

void Creat_Problem() {
    int fstatus, status;
    if ( !CPXEnv ) {
        env = CPXopenCPLEX (&status);
        if ( env == NULL ) {
            printf ("Could not open CPLEX environment.\n");
            exit(0);
        }
        CPXEnv = 1;
    }
}

void ReadData () {
    int i,j, k,l ;
    char temp,ch[80];
    FILE *Input;
    Input = fopen ("Input1.txt", "r");
    fscanf (Input, "%d", &NoMadan);
    fscanf (Input, "%d", &NoFaravari);
    fscanf (Input, "%d", &NoExternal);
    fscanf (Input, "%d", &P);

    L = new float [NoMadan+1];

    Distance = new float *[NoMadan+1];
    for ( j=0 ; j<NoMadan+1; j++)
        Distance[j] = new float [NoFaravari+1];

    Distance2 = new float *[NoFaravari+1];
    for ( j=0 ; j<NoFaravari+1; j++)
        Distance2[j] = new float [NoExternal+1];

    TCFD = new float *[NoFaravari+1];
    for ( j=0 ; j<NoFaravari+1; j++)
        TCFD[j] = new float [NoExternal+1];

    for(i = 1; i<NoFaravari+1 ; i++) {
        for(j = 1; j < NoExternal+1 ; j++){
            fscanf(Input,"%f",&TCFD[i][j]);
        }
    }
    for(i = 1; i<NoMadan+1 ; i++)
        fscanf(Input,"%f",&L[i]);
    fscanf(Input,"%f",&CostOperator);
    fscanf(Input,"%f",&CostTraveling);
}

void main (void) {
    StartTime = second();
    CPXEnv=0;
    ReadData();
    Creat_Problem();
    ModelPopulate();
    cin.get();
}

```

پیوست ۳: کد نوشته شده در برنامه Visual Studio 2010 برای تعیین مسیرهای بهینه برگشت

```
#include <ilcplex/cplex.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <conio.h>
#include <iostream>
#include <time.h>
#include <iomanip>
using namespace std;

float **T;
int NoSupply , NoDemand , CPXEnv , *S , *D;
float StartTime ,EndTime ;

#define MAXCONS 500000000 // Maximum number
of constraints
#define MAXNZ 400000000 // Maximum number of non-zeros
in the constraints pool
#define BigM 100000000

CPXENVptr env = NULL;
CPXLPptr lp = NULL;

float second() {
    return((float )clock()/(float)CLK_TCK);
}

void ModelPopulate() {

    char errmsg[1024];
    long status;
    int i,j,k,l,w,r;
    int counter;

    char sense[1];
    char *coltype;
    long constraints,nzncnt,numcols,numrows;
    int **X;
    int *rmatbeg,*rmatind;
    double *rhs,*rmatval, *lb,*ub,*OperationCost;
    double *obj, *X_Cplex, objval;

    // Allocate temporary CPLEX data structures
    rhs = new double [2];
    if (rhs == NULL) {
        printf ("could not allocate memory for obj.\n");
        exit (-1);
    }
    rmatval = new double [100000];
    if (rmatval == NULL) {
        printf ("could not allocate memory for obj.\n");
        exit (-1);
    }

    rmatbeg = new int [2];
    if (rmatbeg == NULL) {
```

```

        printf ("could not allocate memory for obj.\n");
        exit (-1);
    }

    rmatind      = new int [100000];
    if (rmatind == NULL) {
        printf ("could not allocate memory for obj.\n");
        exit (-1);
    }
    obj          = new double [100000];
    if (obj==NULL) {
        printf ("could not allocate memory for obj.\n");
        exit (-1);
    }

    lb           = new double [100000];
    if (lb==NULL) {
        printf ("could not allocate memory for lb.\n");
        exit (-1);
    }

    ub           = new double [100000];
    if (ub==NULL) {
        printf ("could not allocate memory for ub.\n");
        exit (-1);
    }

    coltype = new char [100000];
    if (coltype==NULL) {
        printf ("could not allocate memory for coltype.\n");
        exit (-1);
    }

    X = new int *[NoSupply+1];
    for(i = 0; i<NoSupply+1 ; i++)
        X[i] = new int [NoDemand+1];
    if (X == NULL) {
        printf ("could not allocate memory for colname.\n");
        exit (-1);
    }

    numcols = 0;
    numrows = 0;

    // Initialize ptr-vectors
    for(i = 0; i<NoSupply+1 ; i++) {
        for(j = 0; j < NoDemand+1 ; j++){

        }
    }

    // Define x-variables
    counter = 0;

    for(i = 1; i<NoSupply+1 ; i++) {
        for(j = 1; j < NoDemand+1 ; j++){

            lb[counter]          = 0;
            ub[counter]          = 100;
            obj[counter]         = T[i][j];
            coltype[counter++]   = 'I';
            X[i][j]              = numcols++;
        }
    }

```

```

    }
}

status = CPXnewcols(env,lp,counter,obj,lb,ub,coltype,NULL);
if (status) {
    CPXgeterrorstring (env, status, errmsg);
    printf("%s", errmsg);
    exit(-1);
}

constraints=0;
////////// Constraints set (1)
for( i =1; i < NoSupply+1; i++) {
    constraints++;
    nzcnt      = 0;
    rhs[0]     = S[i];
    sense[0]   = 'E';
    rmatbeg[0] = 0;
    for (j = 1; j < NoDemand+1; j++) {
        if (X[i][j] >= 0) {
            rmatind[nzcnt] = X[i][j];
            rmatval[nzcnt++] = 1;
        }
    }

    if (nzcnt >= MAXNZ) {
        sprintf(errmsg,"MAXNZ exceeded, constraint n. %d
\n",constraints);
        printf("%s", errmsg);
        exit(-1);
    }

    rmatbeg[1] = nzcnt;
    if (nzcnt > 0) {
        status =
CPXaddrows(env,lp,0,1,nzcnt,rhs,sense,rmatbeg,rmatind,rmatval,NULL,NULL);
        if (status) {
            CPXgeterrorstring (env, status, errmsg);
            printf("%s", errmsg);
            exit(-1);
        }
    }
}

////////// Constraints set (2)
for( j =1; j < NoDemand+1; j++) {
    constraints += 1;
    nzcnt      = 0;
    rhs[0]     = D[j];
    sense[0]   = 'E';
    rmatbeg[0] = 0;

    for (i = 1; i < NoSupply+1; i++) {
        if (X[i][j] >= 0) {
            rmatind[nzcnt] = X[i][j];
            rmatval[nzcnt++] = 1;
        }
    }

    if (nzcnt >= MAXNZ) {
        sprintf(errmsg,"MAXNZ exceeded, constraint n. %d
\n",constraints);

```

```

        printf("%s", errmsg);
        exit(-1);
    }

    rmatbeg[1] = nzcnt;
    if (nzcnt > 0) {
        status =
CPXaddrows(env,lp,0,1,nzcnt,rhs,sense,rmatbeg,rmatind,rmatval,NULL,NULL);
        if (status) {
            CPXgeterrorstring (env, status, errmsg);
            printf("%s", errmsg);
            exit(-1);
        }
    }
}

numcols = CPXgetnumcols(env,lp);
numrows = CPXgetnumrows(env,lp);

X_Cplex = new double [numcols];

CPXcopyctype (env, lp, coltype);
CPXwriteprob(env,lp,"model.lp",NULL);
status = CPXmipopt(env, lp);
if (status) {
    printf ("Failed to optimize LP.\n");
    getchar();
    exit(-1);
}
status = CPXgetmipx (env, lp, X_Cplex, 0, numcols - 1);
if ( status ) {
    printf ("Failed to obtain solution.\n");
    getchar();
    exit(-1);
}
objval=0;
status = CPXgetmipobjval (env, lp, &objval);
if ( status ) {
    printf ("Failed to get the MIP objective value.\n");
    getchar();
    exit(-1);
}
EndTime = second();
cout<<objval<<"\t\t"<< EndTime-StartTime<<"\n\n\n\n" <<endl;
//SolutionExtraction(X_Cplex);

counter = 0;
FILE *Out;
char ch[80];
Out=fopen("Out.txt","w");
fprintf(Out, "%s","X-variables:\n");
for (i = 1; i < NoSupply+1; i++) {
    for (j = 1; j < NoDemand+1; j++) {
        if (X_Cplex[counter] > 0.01) {
            if(i==1)
                ch[1] = '7';
            if(i==2)
                ch[1] = '8';
            if(i==3)
                ch[1] = 'S';

```

```

        if(i==4)
            ch[1] = 'R';
        if(j==1)
            ch[2] = 'A';
        if(j==2)
            ch[2] = 'B';
        if(j==3)
            ch[2] = 'C';
        if(j==4)
            ch[2] = 'D';
        if(j==5)
            ch[2] = 'E';
        if(j==6)
            ch[2] = '7';
        if(j==7)
            ch[2] = '8';
        cout<<"X["<<ch[1]<<"]"<<"["<<ch[2]<<"]="<<
X_Cplex[counter]<<"\t" << endl;
    }
    counter = counter + 1;
}

// Deallocate memory used
if (obj != NULL) delete [] obj;
if (lb != NULL) delete [] lb;
if (ub != NULL) delete [] ub;
if (coltype != NULL) delete [] coltype;
if (X_Cplex != NULL) delete [] X_Cplex;

}

void SolutionExtraction(double *X_Cplex) {
    ////////////////////////////////////////////////////////////////////
    ////////////////////////////////////////////////////////////////////
    ////////////////////////////////////////////////////////////////////
    ////////////////////////////////////////////////////////////////////
}

void Creat_Problem() {
    int fstatus, status;
    if ( !CPXEnv ) {
        env = CPXopenCPLEX (&status);
        if ( env == NULL ) {
            printf ("Could not open CPLEX environment.\n");
            exit(0);
        }
        CPXEnv = 1;
    }
}

if (lp != NULL) {
    fstatus = CPXfreeprob (env, &lp);
    if ( fstatus )
        printf("CPXfreeprob fail, error code %d \n", fstatus);
    CPXcloseCPLEX (&env);

    env = CPXopenCPLEX (&status);
    if ( env == NULL ) {
        printf ("Could not open CPLEX environment.\n");
        exit(0);
    }
}

```



```

    }
}

env = CPXopenCPLEX (&status);
lp = CPXcreateprob (env, &status, "example");
CPXchgobjsen (env, lp, CPX_MIN);

}

void ReadData () {
    int i,j, k,l ;
    char temp,ch[80];
    FILE *Input;
    Input = fopen ("Input.txt", "r");
    fscanf (Input, "%d", &NoSupply);
    fscanf (Input, "%d", &NoDemand);

    T = new float *[NoSupply+1];
    for ( j=0 ; j<NoSupply+1; j++)
        T[j] = new float [NoDemand+1];

    for ( i=1 ; i<NoSupply+1; i++){
        for ( j=1 ; j<NoDemand+1; j++)
            fscanf (Input, "%f", &T[i][j]);
    }
    S = new int [NoSupply+1];
    for ( i=1 ; i<NoSupply+1; i++)
        fscanf (Input, "%d", &S[i]);
    D = new int [NoDemand+1];
    for ( j=1 ; j<NoDemand+1; j++)
        fscanf (Input, "%d", &D[j]);
}

}

void main (void) {
    StartTime = second();
    CPXEnv=0;
    ReadData();
    Creat_Problem();
    ModelPopulate();
    cin.get();
}

```

## **Abstract**

The main part of mineral expenses is affected by transportation. Saving fund in this part of mineral expenses – which is the largest expense part – can be a very good way to prevent sale price decrease, mine life increase and economical extraction.

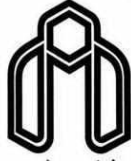
Pre-concentration equipments in Iron ore mines of Sangam do the waste primary separation. The goal in this article is to present a model for Pre-concentration equipments location and optimizing transportation system of AmirSangam Parsian mine. Transportation expenses minimizing model by truck, is developed from extraction points to the Pre-concentration equipments and from there to the waste discharge and grading site with the aim of mine scheduled production guarantee. Considering wall stone mechanic factors, 8 candidate points were chosen for Pre-concentration equipments installation. 3D model of transportation program for one way determination based on minimum material sending cost for separation and after that transportation of separated materials to the waste dump and grading site was written by "visual studio 2010" and "C++ programming language" and the optimum answer solved by ILOG CPLEX. Then the locations number 7 and 8 were determined to install two Pre-concentration equipments. This answer has explained the optimized one-way and load distribution.

Then according to the determined points for Pre-concentration equipments installation and optimized one-way, transportation model based on minimum possible time of truck returns to the loading points, was presented and optimized return ways and empty trucks distribution to the loading points was determined. Necessary time used for one-way and return ways of trucks was calculated and considering the loading and discharging times, the number of trucks for this cycle was determined too.

Results of this model, shows a 28.5% decrease in necessary transportation truck numbers. Also by proper truck allocations to the Pre-concentration equipments, the necessity of fixed allocation of every pre-concentrate machine to the extraction points has been answered which has been changed the manner of one of this Pre-concentration equipments used for separation primary feed, from "active" to the "standby" case.

**Keywords:** AmirSangan Parsian Iron placer mine, Pre-concentration equipments, Optimization transportation system, Operational Research Model, Location, CPLEX Solver.





دانشگاه صنعتی شاهرود

Shahrood University of Technology  
Pardis Kharazmi

**Optimization of Transportation System and Pre-Concentration  
Equipments Location in Sangan Placer Iron Ore Mines (Case Study:  
AmirSangan Parsian Mine)**

**Mohsen Delrobaei**

Supervisors:

**Prof. Mohammad Ataei**

**Prof. Reza Khalu Kakaei**

Advisor:

**Morteza Shenavar**

Feb 2016